



Projeto de Equipamento para Carregamento de Produtos Alimentares a Granel

HÉLIO FERNANDO CAMPELO DE CARVALHO

novembro de 2020

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA CARREGAMENTO DE PRODUTOS ALIMENTARES À GRANEL

Helio Fernando Campelo Carvalho
1050874

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE EQUIPAMENTO PARA CARREGAMENTO PRODUTOS ALIMENTARES À GRANEL

Hélio Fernando Campelo Carvalho
1050874

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Fernando José Ferreira

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto

Professor Adjunto, Instituto Superior Engenharia do Porto

Orientador

Doutor Fernando José Ferreira

Professor coordenador, Instituto Superior Engenharia do Porto

Arguente

Doutor José Luís Soares Esteves

Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Ao meu filho, Gabriel Carvalho
Á minha esposa, Ana Sofia Alheiro
Ao meu avô, Joaquim Campelo (In memóiriam)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Fernando José Ferreira (Professor - Orientador), pelo apoio prestado e o tempo dispensado na elaboração desta tese/projeto.

Agradeço a minha entidade empregadora, Maitec-Projectos Metalomecânicos, Lda, na pessoa do Sr. Joaquim Santos e do Sr. António Carvalho, por todo o apoio prestado e *Know-How* transmitido.

PALAVRAS CHAVE

Equipamento carga à granel, transporte pneumático, automação, transporte produtos alimentares, carregamento produtos alimentares,

RESUMO

Este projeto tem como base o projeto e desenvolvimento de um equipamento feito a nível profissional/pessoal na empresa Maitec Projetos Metalomecânicos Lda.

Por solicitação de um cliente, foi projetado e desenvolvido um equipamento para realizar carregamento de contentores marítimo com produtos alimentares a granel. Este tipo de equipamento permite diminuir o tempo de carga, reduzindo custos e aumentando a produtividade no transporte de produtos em contentor por via marítima.

O Produto a ser carregado é do ramo alimentar, neste caso milho partido, designado vulgarmente por GRITZ.

O principal desafio neste tipo de carregamento é conseguir encher um Big-Bag acomodado previamente no contentor, pela porta de entrada. Nos contentores de 40 pés, o produto ao ser carregado pelo topo do contentor, porta de entrada, deve ser projetado a cerca de 13m.

A empresa Maitec, dedica-se ao manuseamento de produtos alimentares e ao projeto de equipamentos, com uma experiência de cerca de 20 Anos. Este fato foi uma mais valia no desenvolvimento desta máquina que constitui o alvo desta dissertação.

KEYWORDS

Bulk cargo equipment, pneumatic conveying, automation, conveying food products, conveying food products,

ABSTRACT

This project is based on the design and development of equipment made at a professional / personal level at the company Maitec Projetos Metalomecânicos Lda.

At the request of a customer, equipment was designed and developed to carry out loading of marine containers with bulk food products. This type of equipment makes it possible to decrease the loading time, reducing costs and increasing productivity when transporting products in containers by sea.

The product to be loaded is from the food industry, in this case broken corn, commonly known as GRITZ.

The main challenge in this type of loading is to be able to fill a Big-Bag previously accommodated in the container, through the entrance door. In 40' containers, the product when loaded by the top of the container, entrance door, must be projected at about 13m.

The company Maitec is dedicated to handling food products and equipment design, with an experience of about 20 years. This fact was an asset in the development of this machine that is the target of this dissertation.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

FDA	Food and Drug Administration
-----	------------------------------

Lista de Unidades

m	Metro
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
'	Pés
g	Aceleração gravidade
m/s	Metros por segundo
°	Ângulo
rpm	Rotação por minuto
Nm	Newton por Metro
kg	Quilograma
kg.m ²	Inercia
rad/s	Radianos por segundo
rad/s ²	Aceleração angular
s	Segundos
Ton	Toneladas
T/h	Toneladas por hora
Kg/s	Quilogramas por segundo
Kg/m ³	Quilogramas por metro cubico - densidade
N	Newtons

Lista de Símbolos

re	Raio exterior
ri	Raio interior
ΔS	Distância percorrida
V0	Velocidade inicial
H	Altura
θ	Ângulo
M	Momento rotação
I	Inercia
α	Aceleração angular
L	Comprimento
I _{tambor}	Inercia tambor
I _{tambor motriz}	Inercia tambor motriz
I _{tambor mandado}	Inércia tambor mandado
I _{veio}	Inercia do veio

$I_{\text{disco int.}}$	Inercia disco interior
$I_{\text{disco ext.}}$	Inercia disco exterior
Nylon	PA - Poliamida
$I_{\text{rolo nylon}}$	Inercia Rolo Nylon
$I_{\text{tambor esticador}}$	Inercia total do rolo esticador
ω	Velocidade angular
R	Raio
t	tempo
h	Altura produto na tela
T	Tensão na tela
B	Força Binário arranque
A_x	Força eixo x
A_y	Força eixo y
$F_{\text{chumaceira}}$	Força eixo chumaceira
d_{meio}	Diâmetro exterior a meio do rolo
d_{borda}	Diâmetro exterior na periferia do rolo

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Sem fim	Fuso helicoidal
Tambor motriz	Tambor responsável por transmitir movimento
Tambor mandado	Tambor que gira livremente de acordo com a velocidade tela
PME50	Designação chumaceira <i>schaeffler</i>
RLK-1300	Designação casquilho aperto catálogo Rolisa
Ck45	Designação Aço construção ao carbono Norma DIN
MEF	Método numérico de elementos finitos
Big Bag	Embalagens flexíveis de transporte de volumes médios
Gritz	Grãos de milho partido

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 CONTENTOR 20'	25
FIGURA 2 EXEMPLO DO BIG-BAG PARA CONTENTOR	26
FIGURA 3 CARREGAMENTO POR TRANSPORTE PNEUMÁTICO	27
FIGURA 4 TAPETE TRANSPORTADOR TElescÓPICO	28
FIGURA 5 CARREGAMENTO POR SEMFIM	29
FIGURA 6 EXEMPLO DE FUNCIONAMENTO	30
FIGURA 7 MÁQUINA EXISTENTE NO MERCADO "REDLER"	30
FIGURA 8 TAPETE TRANSPORTADOR COM AJUSTE EM ALTURA, [1]	34
FIGURA 9 SISTEMAS TENSORES DA TELA TRANSPORTADORA [1]	34
FIGURA 10 TRANSPORTADOR SEMFIM [1]	35
FIGURA 11 PEÇA DE INTRODUÇÃO DE PRODUTO [1]	36
FIGURA 12 EXEMPLO DO CICLONE [7]	37
FIGURA 13 FORÇAS DE DEFORMAÇÃO DA TELA TRANSPORTADORA [6]	38
FIGURA 14 TENSÃO DA CORREIA AO LONGO DO TAMBOR [6]	38
FIGURA 15 – FIGURA DA IDEIA INICIAL PARA O CLIENTE	41
FIGURA 16 ESTUDO DO ÂNGULO DE SAÍDA DE PRODUTO	42
FIGURA 17 TAMBOR MOTRIZ	44
FIGURA 18 DESENHO DO ROLO ESTICADOR	45
FIGURA 19 DESENHO DO TAMBOR MANDADO	46
FIGURA 20 FOTO DO GRITZ	48
FIGURA 21 GRANULOMETRIA DO GRITZ	49
FIGURA 22 PORMENOR DA ALTURA "H"	49
FIGURA 23 DIAGRAMA FORÇAS ROLO MOTRIZ	50
FIGURA 24 ESTRUTURA PRINCIPAL DO EQUIPAMENTO	51
FIGURA 25 FOTO DO EQUIPAMENTO COM PAINEL REMOVÍVEL	52
FIGURA 26 PORMENOR DO ROLO INTERMÉDIO - ROLO B	52
FIGURA 27 FOTO DE PORMENOR DO ROLO INTERMÉDIO	53
FIGURA 28 PORMENOR DO ABAULAMENTO	54
FIGURA 29 PORMENOR DO ROLO TRAÇÃO - ROLO A	54
FIGURA 30 EXEMPLO DO DESALINHAMENTO DA TELA NO TAMBOR	54
FIGURA 31 PORMENOR DAS FLANGES GUIA	55
FIGURA 32 PORMENOR DO ROLO C	55
FIGURA 33 PORMENOR DAS CHAPAS DE AFINAÇÃO DA TELA	56
FIGURA 34 FOTO DE PORMENOR DAS CHAPAS DE AFINAÇÃO TELA	56
FIGURA 35 PORMENOR DA TRANSMISSÃO	57
FIGURA 36 FOTO DE SUPORTE DO MOTOR ELÉTRICO	57
FIGURA 37 FOTO DA BLINDAGEM DA TRANSMISSÃO	58
FIGURA 38 PORMENOR DA PEÇA DE ENTRADA DO PRODUTO	59
FIGURA 39 PORMENOR DA CHAPA DE AJUSTE DO CAUDAL DO PRODUTO	59

FIGURA 40 FOTO DA PEÇA DE INTRODUÇÃO DO PRODUTO	60
FIGURA 41 PORMENOR DA Sonda DE NÍVEL MÁXIMO DO BIG-BAG	61
FIGURA 42 FOTO DO EXEMPLO DA Sonda DE PALHETAS VIBRANTES	61
FIGURA 43 PORMENOR DA APLICAÇÃO DO VENTILADOR DE INSUFLAÇÃO DO AR NO BIG-BAG	62
FIGURA 44 PORMENOR DO VENTILADOR COM SILENCIADOR	62
FIGURA 45 EXEMPLO DO BIG-BAG 1000 KG	63
FIGURA 46 PORMENOR DA PEÇA DE FIXAÇÃO DO BIG-BAG PARA RECOLHA DO PÓ.	64
FIGURA 47 FOTO DA PEÇA DA AMARRAÇÃO DO BIG-BAG	64
FIGURA 48 PORMENOR DA FIXAÇÃO DOS GARFOS DO EMPILHADOR	65
FIGURA 49 PORMENOR DO ENCAIXE DOS GARFOS DO EMPILHADOR	65
FIGURA 50 FOTO DA BASE DOS APOIOS DOS GARFOS DO EMPILHADOR	66
FIGURA 51 PEÇA DA LIGAÇÃO DA BASE DE APOIO Á MÁQUINA	67
FIGURA 52 FOTO DE PORMENOR DA LIGAÇÃO DA BASE DE APOIO Á MÁQUINA	67
FIGURA 53 PORMENOR DO FUSO DE AFINAÇÃO DO ÂNGULO DA MÁQUINA	68
FIGURA 54 FOTO DO EXEMPLO DO FUSO DE AFINAÇÃO	68
FIGURA 55 FOTO DA LOCALIZAÇÃO DO QUADRO ELÉTRICO	70
FIGURA 56 FOTO DA ARRUMAÇÃO DO INTERIOR DO QUADRO ELÉTRICO	71
FIGURA 57 PORMENOR DA ESTRUTURA DE SUPORTE DA MÁQUINA AO CONTENTOR	72
FIGURA 58 ESTRUTURA DE APOIO DO EQUIPAMENTO AO CONTENTOR	73

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	Contentores de carga normalizados.	25
1.2	Exemplos de BIG-BAGS disponíveis para contentorização de cereais nos contentores para transporte Marítimo.	26
1.3	Tipos de sistemas carregamento contentores.	26
1.4	Carregamento por transporte pneumático.....	27
1.5	Carregamento por tela transportadora telescópico (tapete).	28
1.6	Carregamento por Semfim helicoidal.	29
1.7	Carregamento por tela transportadora com projeção produto.	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1	Transportadores de tela.....	33
2.2	Transportadores Semfim.....	35
2.3	Transportador por transporte pneumático.	36
2.4	Estudo por MEF de um tapete transportador.....	37
3	PROJETO MECÂNICO DE EQUIPAMENTO PARA ENCHIMENTO DE CONTENTORES POR PROJEÇÃO.....	41
3.1	Desenvolvimento	41
3.2	Cálculo da velocidade de projeção e caudal da máquina	42
3.3	Cálculo do binário de arranque.....	44
3.4	Cálculo da capacidade de enchimento:	48
3.5	Cálculo das chumaceiras:	49
3.6	Estrutura principal máquina.....	51
4	PROJETO DE AUTOMAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA ENCHIMENTO DE CONTENTORES POR PROJEÇÃO	69

4.1	Requisitos para automação e eletrificação do equipamento	69
5	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	77
5.1	CONCLUSÕES.....	77
5.2	PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS.....	78
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	81
6.1	LIVROS DE CONSTRUÇÕES DE MÁQUINAS.....	81
6.2	CATÁLOGOS INDUSTRIAIS	81
6.3	ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS	82
7	ANEXOS.....	85
7.1	Desenho 2D – Estudo Principal	86
7.2	Desenho 2D – Desenho Principal da Máquina.....	87
7.3	Desenho 2D – Desenho de fabrico principal.....	88
7.4	Desenho 2D – Desenho de montagem do equipamento + estrutura + contentor.....	89

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contentores de carga normalizados.
- 1.2 Exemplos de BIG-BAGS disponíveis para contentorização de cereais nos contentores para transporte Marítimo.
- 1.3 Tipos de sistemas carregamento contentores.
- 1.4 Carregamento por transporte pneumático.
- 1.5 Carregamento por tela transportadora telescópico (tapete).
- 1.6 Carregamento por Semfim helicoidal.
- 1.7 Carregamento por tela transportadora com projeção produto

1 INTRODUÇÃO

No âmbito de atuação da empresa Maitec, foi projetado e desenvolvido um sistema para carregar contentores marítimos (20' e 40') com o produto alimentar à granel. O produto de referência para este projeto é grão de milho partido, denominado por Gritz.

Devido a configuração do contentor, que é um prisma na posição horizontal e local de carga do produto a porta da frente do contentor, a máquina desenvolvida deve ser capaz de executar um carregamento na Horizontal. O produto deve ser projetado junto á porta de entrada do contentor e atingir o fundo deste.

1.1 Contentores de carga normalizados.

O contentor 20' é um contentor de 6 metros de comprimento (a origem do nome 20' é que tem 20 pés de comprimento, com uma largura de 8 pés e altura 8,5 pés), Figura 1. As medidas de carga, isto é, as medidas interiores são 5900mm comprimento, 2350mm largura e 2390mm altura, originando aproximadamente 33,14m³. Na pratica apenas se contabilizam 30m³ de capacidade útil, pois dificilmente se consegue encher o contentor na totalidade.



Figura 1 Contentor 20'

O Contentor de 40' é um contentor de 12 metros (40 pés comprimento, 8 pés de largura e 8,5 pés de altura). As medidas uteis são 12030mm comprimento, 2350mm largura e 2390mm de altura, totalizando aproximadamente 76m³. Na prática considera-se apenas 68m³ de capacidade útil.

O carregamento deste tipo de contentor é sempre pelo topo, tendo duas portas rebatíveis conforme Figura 1.

1.2 Exemplos de BIG-BAGS disponíveis para contentorização de cereais nos contentores para transporte Marítimo.

O transporte de qualquer produto alimentar em contentores segue regras e normas específicas, nomeadamente os materiais utilizados na sua construção, que estejam em contacto direto com o produto, devem ter certificação FDA, (*Food and Drug Administration*). Para o transporte de produtos a granel dentro de contentores marítimos é necessário a utilização de um saco próprio que impeça a contaminação do produto criando a separação com as paredes interiores do contentor e o isolamento deste. O saco de contentorização é vulgarmente designado por Big-Bag, possuindo diferentes formatos consoante o fim a que se destina.

Na Figura 2 pode-se ver o tipo de Big-Bag usado no interior de contentores marítimos para o transporte de produtos a granel.



Figura 2 Exemplo do Big-Bag para contentor

1.3 Tipos de sistemas carregamento contentores.

Existe no mercado diferentes soluções para o carregamento de contentores com produtos alimentares a granel. Estas diferentes soluções concorrem entre si, em preço, em versatilidade, mas especialmente em rentabilidade, isto é, velocidade de enchimento.

Alguns sistemas tradicionais como transporte por Semfim ou tapete rolante introduzido dentro do contentor requer muito espaço e amplos cais de carga.

1.4 Carregamento por transporte pneumático.

O carregamento por transporte pneumático é um sistema que consiste em projetar o produto misturado com um caudal de ar bem definido. Isto deve ser feito de forma a encher completamente o interior do contentor, desde a porta de entrada, sendo o produto projetado a cerca de 13m. Neste caso este sistema baseia-se em produzir um caudal de ar bem dimensionado numa conduta tubular. A velocidade do ar na conduta é fator critico para este tipo de transporte, se for muito baixa o grão acumula-se no fundo do tubo que acaba por entupir, se for muito alta, para além de consumir muita potência elétrica, danifica as tubagens do equipamento, podendo danificar o Big-Bag e mais importante pode modificar as características do produto com quebra do grão.

Neste tipo de transporte, estipula-se uma velocidade inicial com base na literatura de transporte pneumático (*TRANSPORTE PNEUMÁTICO- Tecnologia, projectos e aplicações na indústria e serviços, de Deodoro Ribeiro da Silva- Artliber editora*) este valor é depois corrigido com experiência, de acordo com o produto. No caso do Gritz a velocidade adotada pela Maitec é de 23m/s no interior da conduta.

O bocal de introdução do produto granulado na tubagem do transporte pneumático deve ser desenhado por forma a não haver retorno, e aplicando-se uma peça tipo “venturi”, ou um doseador do tipo *eclusa*. O Sistema tipo *eclusa* permite um melhor controle e uma introdução gradual do produto no fluxo de ar. Para a produção de ar, usa-se normalmente um ventilador e/ou compressor.

Um exemplo deste tipo de dispositivo de carregamento pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3 Carregamento por transporte pneumático

A Figura 3 mostra um equipamento fixo, apenas adequado para ser montado em silos de armazenamento, exigindo uma grande estrutura de fixação e a instalação de ventiladores na proximidade. Neste tipo de carregamento, o posto de carga é bem definido e requer sempre uma estação de filtragem ar, pois no caso dos cereais e dado o caudal de ar do sistema vai originar uma quantidade considerável de pó.

1.5 Carregamento por tela transportadora telescópico (tapete).

Também é possível carregar os contentores utilizando tapetes transportadores de tela. Em alternativa podem ser usados tapetes fixos, em que quem se move é o contentor, ou tapetes telescópicos que alteram o seu comprimento final, estes últimos conseguem carregar o contentor de uma forma mais fácil e automática.

Os tapetes fixos, estes são inicialmente posicionados na parte superior do interior do contentor e desta forma consegue-se encher gradualmente o mesmo. Quando se usam tapetes fixos, durante o processo de enchimento do contentor o (camião) deve ir avançando para conseguir um enchimento uniforme. Este processo exige grande coordenação do condutor.

Este sistema requer um espaço de carga considerável, pode existir alguma mobilidade do ponto de carga, mas dado as dimensões da máquina não será de fácil manuseamento. Neste sistema de carga parte-se do princípio que não irá produzir pó. Na Figura 4, pode ser visualizado um equipamento deste tipo.



Figura 4 Tapete transportador telescópico

Nos tapetes telescópicos o carregamento é mais automatizado e mais eficiente, mas a máquina é mais complexa e exige mais espaço de instalação.

1.6 Carregamento por Semfim helicoidal.

Este tipo de equipamento, é sem dúvida o mais simples e mais económico de se carregar Big-Bag em contentores, consiste em instalar um Sem-fim helicoidal, autoportante com comprimento suficiente da longitude do contentor. Este sistema pode ser visto na Figura 5.

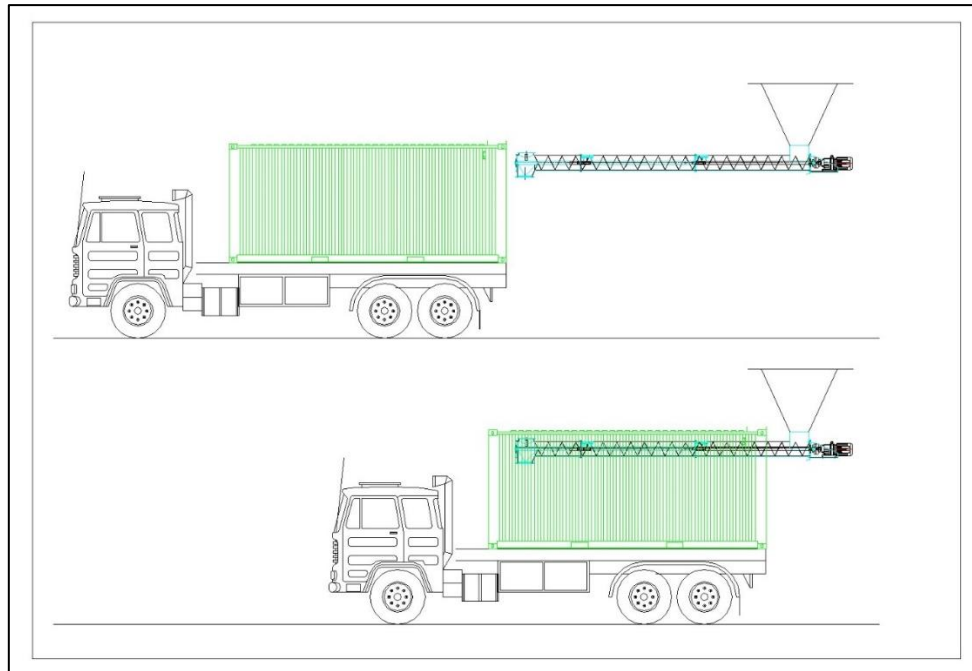


Figura 5 Carregamento por Sem-fim

No entanto, ocupa algum espaço no cais de carga, e o condutor tem de mover o camião para distribuir o produto ao longo do BIG-BAG, que exige grande perícia do condutor. Uma manobra desacuada pode danificar severamente o equipamento. Também o tempo de carregamento é muito maior. O carregamento de contentores de 40'' exige uma estrutura autoportante muito robusta que pode inviabilizar a competitividade da máquina.

Tal como no sistema de carregamento por tela, este sistema não produzirá pó.

1.7 Carregamento por tela transportadora com projeção produto.

Este sistema possibilita a construção de um equipamento portátil, isto é, pode ser reposicionado facilmente, ou mesmo transportado para diferentes instalações.

Este sistema, portátil e compacto, projeta o produto para dentro do BIG-BAG, através de uma tela. Pode transportar vários tipos de produto, é de fácil manuseamento, não necessita da instalação de um grande ventilador e não produz pó.

Um esquema desta máquina de enchimento pode ser visto na Figura 6 e Figura 7.

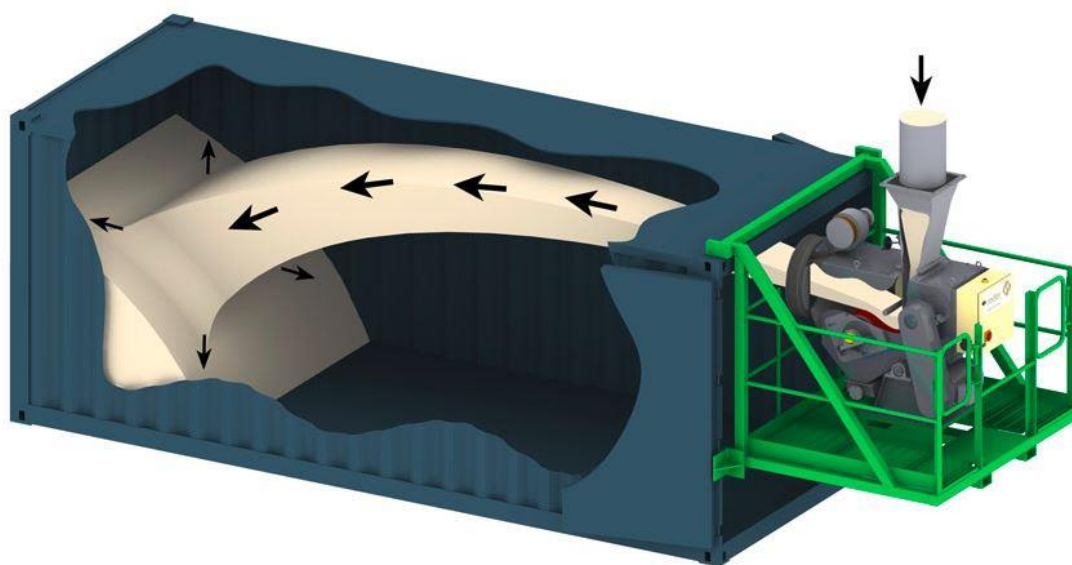


Figura 6 Exemplo de funcionamento com projeção de produto



Figura 7 Máquina de projeção existente no Mercado "Redler"

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Transportadores de tela.
- 2.2 Transportadores Semfim.
- 2.3 Transportador por transporte pneumático.
- 2.4 Estudo por MEF de um tapete transportador.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Transportadores de tela.

Normalmente quando se constrói um transportador de tela este é composto principalmente por estrutura principal, pode ser tubular ou em chapa, os dois tambores (o tambor motriz e o tambor mandado), acionamento (normalmente motor elétrico diretamente acoplado ou então com transmissão por correias ou corrente) e a respetiva tela.

A tela na zona superior, onde transporta o produto, desliza normalmente numa chapa lisa, ou sobre roletes. Na zona inferior da tela, usa-se também roletes de sustentação, sendo estes mais espaçados do que na zona superior. Na zona inferior também se costuma usar raspadores para permitir limpeza da tela.

O tambor motriz e o tambor mandado possuem uma configuração abaulada, para permitir uma fácil afinação da tela em todo o seu comprimento, pois a tela não deve encostar às laterais do tambor, caso existam. O abaulamento impõe que a tela se mantenha zona central do tambor. O tambor motriz, em alguns casos que não se consiga transmitir tração suficiente á tela transportadora, costuma-se revestir com material aderente como por borracha.

A tela normalmente na face superior pode ser construída em poliuretano, PVC ou borracha e na face inferior em poliéster.

Estes tipos de equipamento são muito versáteis, e com várias funcionalidades, como se pode ver na Figura 8, este tem um sistema que permite afinar a altura da saída final do produto, pois através de um esticador conseguimos facilmente fazer esta afinação.

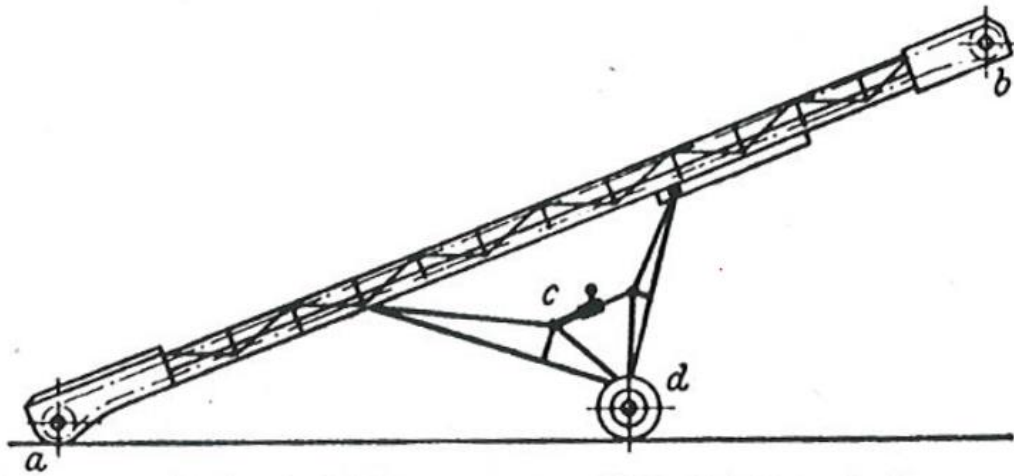


Figura 8 Tapete transportador com ajuste em altura, [1]

Para conseguir fazer o esticamento da tela, usamos sistema de tração com recurso a fusos roscados.

Conforme se pode ver na Figura 9, um parafuso que está a puxar o tambor mandado de forma a este tracionar a tela, neste caso por cada milímetro que este se mova a tela estica o dobro. Neste tipo de tensor podemos usar um perno roscado simples e respetivas fêmeas, ou então aplicar uma mola de forma a absorver possíveis esforços pontuais, aumentando a longevidade da tela e do sistema.

Este tipo de esticamento é bom para dispositivos compactos, simples e móveis. No entanto existe outros tipos de esticamento como por recurso a pesos diretamente acoplados aos eixos dos rolos tensores de forma a garantir a mesma tensão na tela ao longo do seu funcionamento (em carga ou em vazio).

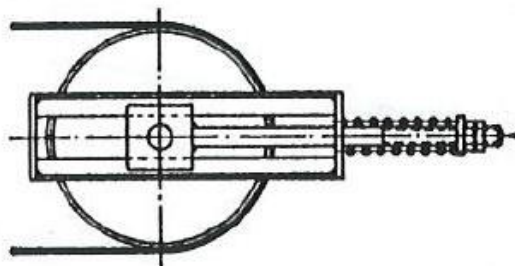


Figura 9 Sistemas tensores da tela transportadora [1]

2.2 Transportadores Semfim.

Um outro tipo de transporte de produto à granel é através de 'parafusos' Sem-fim (transportador helicoidal de eixo giratório), que gira dentro de um tubo ou calha.

A árvore principal Sem-fim, normalmente é feita com um eixo oco em tubo aço sem costura e soldadas depois as rodela de chapas furadas e com raio próprio, depois são esticadas para dar a forma final de um passo por diâmetro pretendido. Posteriormente são aplicados os respectivos veios nos terminais da mesma.

Possuem apoios do tipo chumaceira nas extremidades e também ao longo do eixo caso este seja longo o suficiente para sofrer flechas excessiva em flexão e encoste as paredes da máquina.

Estas máquinas, são muito equiparáveis com os tapetes transportadores a nível de versatilidade e simplicidade de construção, no entanto são mais suscetíveis de alterar a granulometria de alguns produtos, como grão de café moído por exemplo, que vai sendo fraccionado pelo processo. Também fica sempre uma pequena quantidade de produto no fundo da máquina, isto é, entre a helicoidal e a chapa da máquina, normalmente 4mm, o que pode originar a contaminação entre vários produtos, o que obriga a uma limpeza frequente caso se lide com vários produtos na mesma máquina. Um exemplo de um Sem-fim pode ver visto na Figura 10.

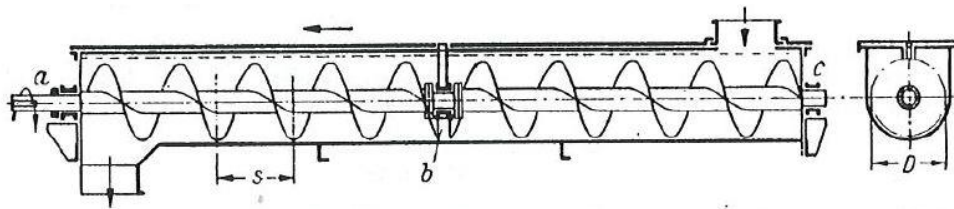


Figura 10 Transportador por Semfim [1]

2.3 Transportador por transporte pneumático.

Com recurso a uma peça de introdução de produto do tipo “venturi” ,Figura 11 podemos misturar o produto á granel a ser transportado com ar fluindo sobre pressão numa tubagem. Assim, o produto é transportado dentro de uma tubagem ao local que pretendemos. No terminal da tubagem usa-se um decantador apelidado de ciclone que permite separar o produto do ar, conforme Figura 12. Este tipo de transporte percorrer distâncias até 1500m e pode transportar até 100t/h

Este tipo de transporte consiste em produzir um caudal de ar através de um compressor ou ventoinha, suficiente para conseguir manter uma velocidade considerável de forma a não entupir ao longo do percurso. Este tipo de transporte permite diversas configurações a nível de trajeto, pois usa basicamente curvas e tubagem.

Uma velocidade de transporte muito usual é de cerca 21m/s a 25m/s, e uma pressão estática de 0,5bar aproximadamente.

De notar que devido ao caudal de ar que se produz, este tipo de transporte causa algum desgaste nas zonas curvas, sendo necessário a sua substituição com alguma frequência.

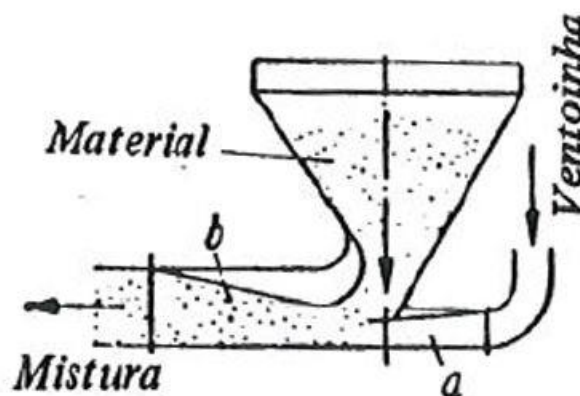


Figura 11 ‘Venturi’ de introdução de produto em transporte pneumático [1]

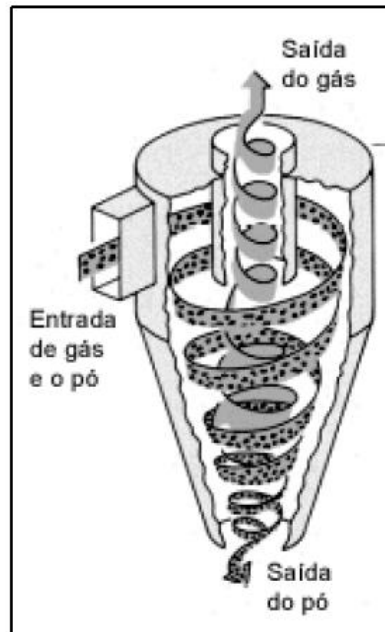


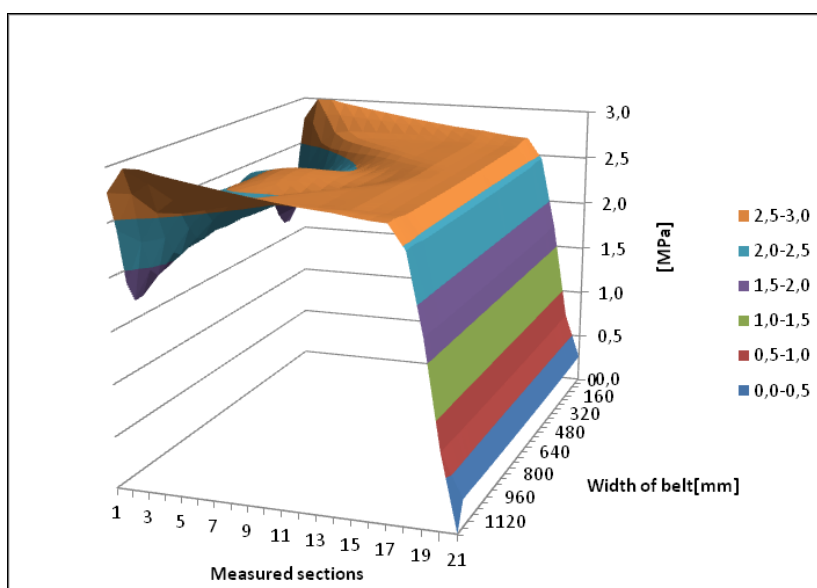
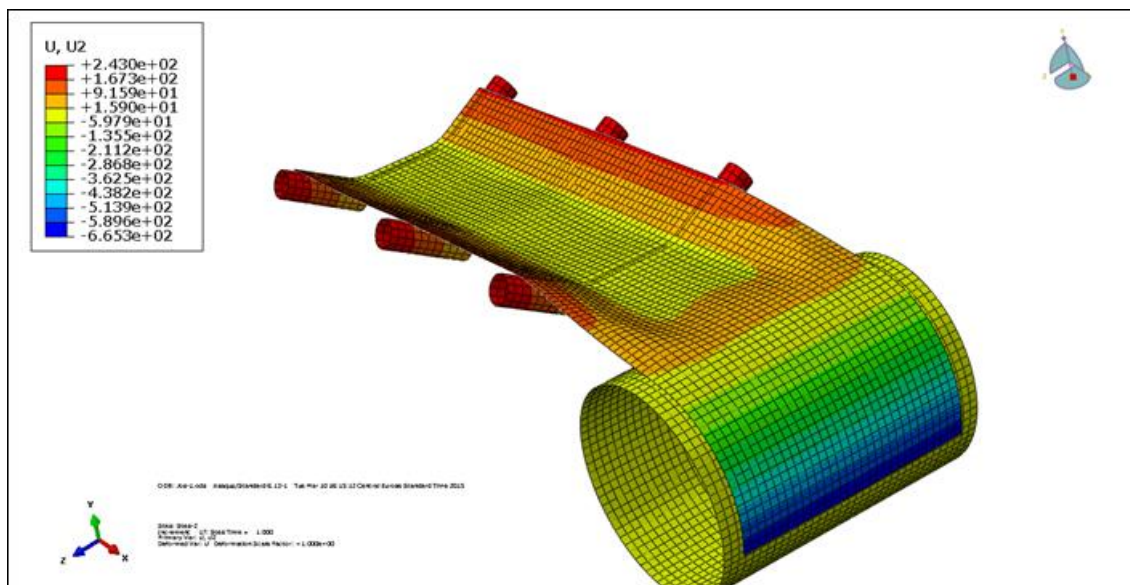
Figura 12 Exemplo de separador por Ciclone [7]

2.4 Estudo por MEF de um tapete transportador.

É muito raro encontrar-se literatura recente para este tipo de equipamentos, talvez por serem já relativamente conhecidos e usados há muitos anos na Indústria. Um dos poucos exemplos encontrados é que o se apresenta a seguir [6] num pequeno excerto, Neste trabalho o autor aplica uma análise por elementos finitos, à tela e ao tambor de tração de um transportador por tapete. Neste artigo estuda-se por FEA, o abaulamento do rolo e a estabilidade da tela.

Neste artigo avalia-se o comportamento a nível de forças e deformações existentes nos transportadores de tela.

Neste caso o autor usou o programa de elementos finitos (programa computacional Abacus CAE), de forma a obter dados sobre as forças atuantes, e tensões na tela transportadora, principalmente na transição entre roletes e os tambores. Isto pode ser visualizado na Figura 13 e Figura 14.



Este estudo documentado neste artigo, refere-se a um transportador de tela, com roletes laterais inclinados a 30º, em forma de U, que é muito usado no transporte de cargas pesadas e distâncias de transporte longas, por exemplo em pedreiras etc. Neste tipo de tapete em que a tela é acomodada ao longo dos roletes, deve-se ter atenção a entrega que se faz da tela com o tambor, e também a tensão da tela na zona dos roletes inclinados.

Projeto Mecânico de Equipamento para enchimento de contentores por projeção

- 3.1 Desenvolvimento
- 3.2 Cálculo da velocidade de projeção e caudal da máquina
- 3.3 Cálculo do binário de arranque.
- 3.4 Cálculo da capacidade de enchimento:
- 3.5 Cálculo das chumaceiras:
- 3.6 Estrutura principal máquina.
- 4.1 Requisitos para automação e eletrificação do equipamento

3 Projeto Mecânico de Equipamento para enchimento de contentores por projeção.

Foi encomendado a MAITEC um projeto e posterior construção de uma máquina para encher Big-Bags, usando o princípio projeção de produto, conforme capítulo 1.3.4. A ideia inicial, foi desenvolver uma máquina com o mesmo estilo, mas com algumas melhorias, como por exemplo, a possibilidade aplicar um saco na base da máquina para receber algum pó que o sistema produz, e também visores na lateral da máquina onde se consiga ver o caudal do produto a passar. Existe também a possibilidade de colocar uma sonda de nível alto de produto que irá parar a máquina de imediato (eventualmente fechar uma válvula de abastecimento do produto).

Terá também uma plataforma feita para suportar a máquina e apoiar no Contentor.

3.1 Desenvolvimento

Acerca do local de referência onde o equipamento vai ser instalado, o cliente tem um silo específico com o produto a ser carregado, vamos instalar uma válvula de desvio do produto, automática, de forma a ligar ao comando da nova máquina. A conexão do tubo de abastecimento de produto ao equipamento é feita por tubagem flexível, conforme observado na Figura 15.

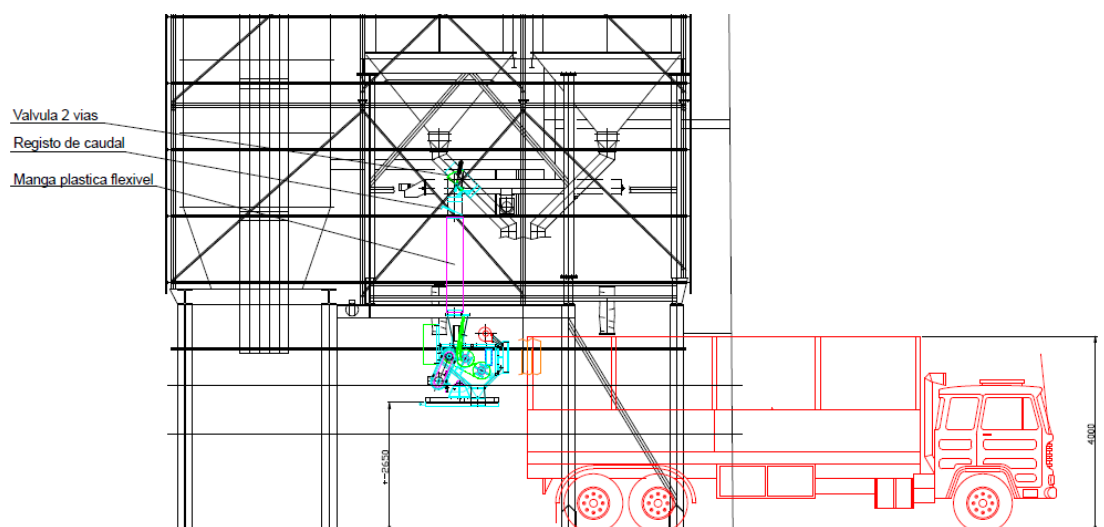


Figura 15 – Figura da ideia inicial para o Cliente

3.2 Cálculo da velocidade de projeção e caudal da máquina

No projeto da máquina, vamos fazer um sistema de ajuste dos eixos dos rolos, em que se possa afinar o ângulo de saída produto. Também vai ser aplicado um variador de velocidade e respetivo potenciômetro no quadro de comando para ajustar a velocidade da tela.

Estudo várias posições tambores (rolo A, rolo B e rolo C):

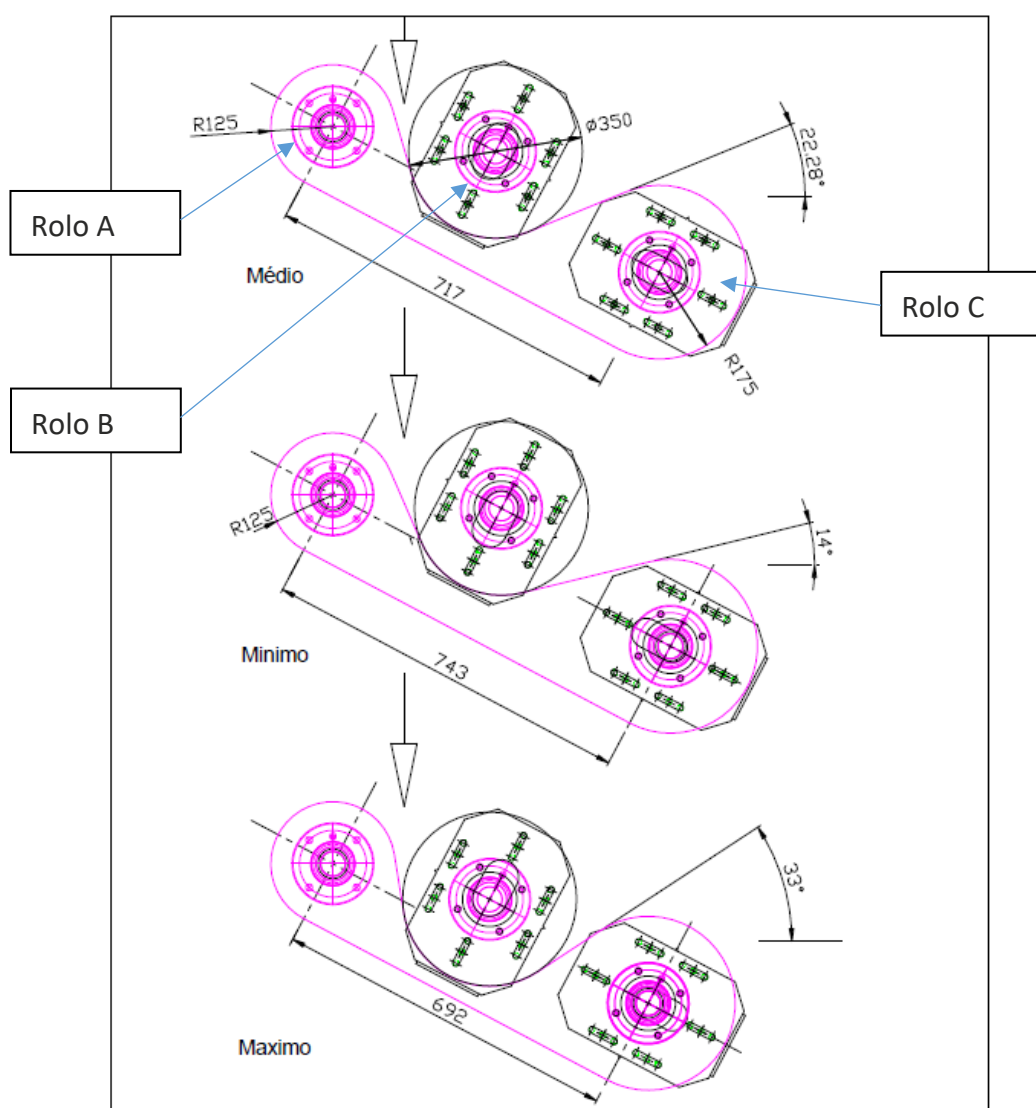


Figura 16 Estudo do ângulo de saída de produto

Cálculo da velocidade para contentor 12 metros:

Vamos considerar o ângulo médio da afinação da máquina proposto (14°):

$$\Delta S = \frac{V0^2 * \sin(2 * \theta)}{g} \leftrightarrow V0 = \sqrt{\frac{12 * 9,8}{\sin(2 * 14)}} = 15,8 \text{ m/s}$$

$$H = \frac{V0^2 * \sin^2 \theta}{2 * g} = \frac{15,8^2 * \sin^2 14}{2 * 9,8} = 0,74 \text{ mt}$$

Fizemos uma folha Excel de forma a definir a distância e o ângulo de projeção para melhor entender a velocidade e altura máxima de projeção produto:

ΔS (m)	12
θ (°)	22,8
V0 (m/s)	12,83
H (m)	1,26

Na essência, a máquina consiste num rolo motriz, um rolo mandado e um rolo tencionador, este último é formado por dois discos maciços onde o produto passa no meio. Podemos definir então uma velocidade teórica da tela, mas temos de ter em conta a forma como vamos transmitir a velocidade ao produto através da tela, assim como definir qual a altura de produto que vamos projetar, indo ao encontro do caudal de carga pedido pelo cliente.

Vamos ter uma transmissão por correias e também um variador de frequência, este variador vai ter um potenciômetro acessível ao operador para fácil manuseamento.

De uma forma genérica, vamos utilizar um motor de 1440rpm, o rolo motriz tem D=250mm:

$$V0 \text{ (m/s)} = \frac{\pi * \text{Diametro exterior rolo} * \text{RPM}}{60} = \frac{1099}{60} = 18,32 \text{ m/s}$$

3.3 Cálculo do binário de arranque.

Foi feito o cálculo do binário necessário para o arranque de forma a determinar a potência necessária a instalar. Para isto, usou-se a fórmula abaixo, obtida pela referência [4].

$$\sum M = I \times \alpha$$

Foi calculada a inércia dos tambores (Rolo A, Rolo B e Rolo C) não sendo considerado os detalhes da maquinação das peças (rebaixos e abaulamento), soldadura e parafusos, utilizados na fabricação destes elementos.

- **Cálculo inercia tambor motriz (Rolo A):**

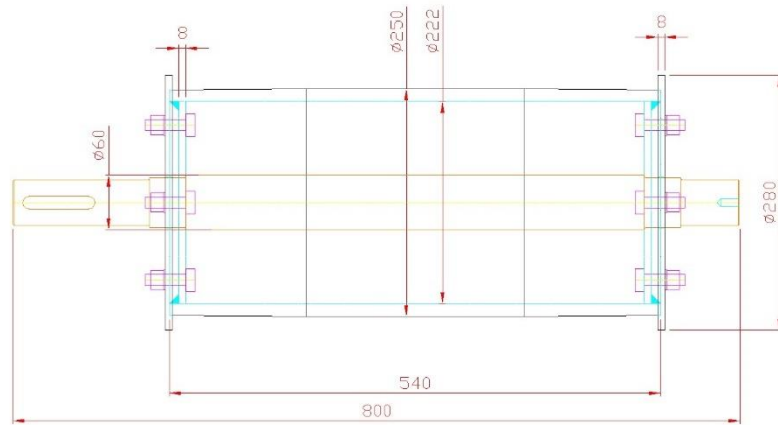


Figura 17 Tambor Motriz

$$\begin{aligned} \text{Volume tambor exterior} &= (\pi(re)^2 - \pi(ri)^2) \times L \\ &= (\pi(0,125)^2 - \pi(0,111)^2) \times 0,540 = 0,0056m^3 \end{aligned}$$

$$\text{Peso tambor} = 0,0056 \times 7800 = 43,72kg$$

$$\text{Peso Veio D60} = \pi(re)^2 \times L \times \rho = \pi(0,03)^2 \times 0,8 \times 7800 = 17,64kg$$

$$\text{Peso disco interior} = \pi(re)^2 \times e \times \rho = \pi(0,111)^2 \times 0,008 \times 7800 = 2,415kg$$

$$\text{Peso disco exterior} = \pi(re)^2 \times e \times \rho = \pi(0,140)^2 \times 0,008 \times 7800 = 3,842kg$$

$$\begin{aligned} I_{\text{tambor}} &= \frac{1}{2} \times M \times (Re^2 + Ri^2) \\ I_{\text{tambor}} &= \frac{1}{2} \times 43,72 \times (0,125^2 + 0,111^2) = 0,6109kg.m^2 \\ I_{\text{veio}} &= \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 17,64 \times 0,03^2 = 0,0079kg.m^2 \end{aligned}$$

$$I_{disco\ int.} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 2,415 \times 0,111^2 = 0,0149 kg.m^2$$

$$I_{disco\ ext.} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 3,842 \times 0,140^2 = 0,0377 kg.m^2$$

$$I_{tambor\ motriz} = I_{tambor\ motriz} + I_{veio} + 2 \times I_{disco\ int} + 2 \times I_{disco\ ext}$$

$$I_{tambor\ motriz} = 0,6109 + 0,0079 + 2 \times 0,0149 + 2 \times 0,0377 = 0,7240 kg.m^2$$

- Calcular inercia “tambor” esticador (Rolo B):

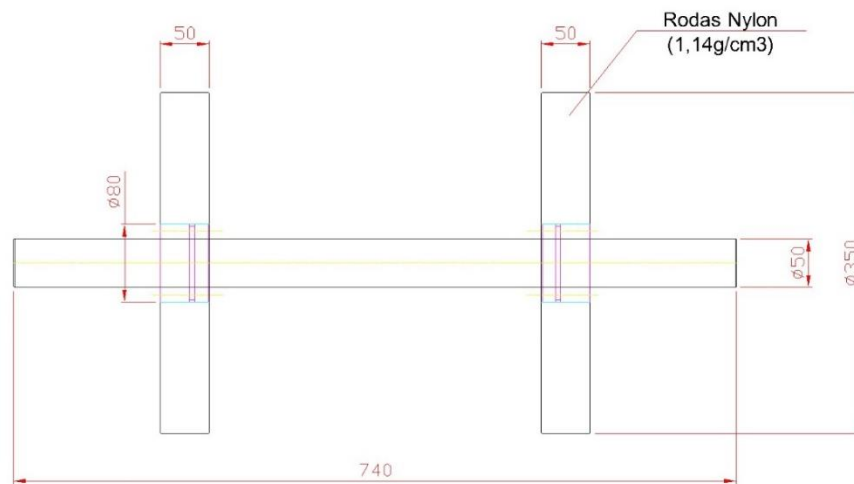


Figura 18 Desenho do rolo esticador

$$Volume\ rolo\ nylon = (\pi(re)^2 - \pi(ri)^2) \times L = (\pi(0,175)^2 - \pi(0,025)^2) \times 0,05 = 0,0047 m^3$$

$$Peso\ rolo\ nylon = 0,0047 \times 1140 = 5,358 kg$$

$$Peso\ Veio\ D50 = \pi(re)^2 \times L \times \rho = \pi(0,025)^2 \times 0,740 \times 7800 = 11,33 kg$$

$$I_{rolo\ nylon} = \frac{1}{2} \times M \times (Re^2 + Ri^2)$$

$$I_{rolo\ nylon} = \frac{1}{2} \times 5,358 \times (0,175^2 + 0,025^2) = 0,0837 kg.m^2$$

$$I_{veio} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 11,33 \times 0,025^2 = 0,0035 N.m^2$$

$$I_{tambor\ esticador} = 2 \times I_{rolo} + I_{veio}$$

$$I_{tambor\ esticador} = 2 \times 0,0837 + 0,0035 = 0,1709 kg.m^2$$

- Cálculo inercia tambor mandado (Rolo C):

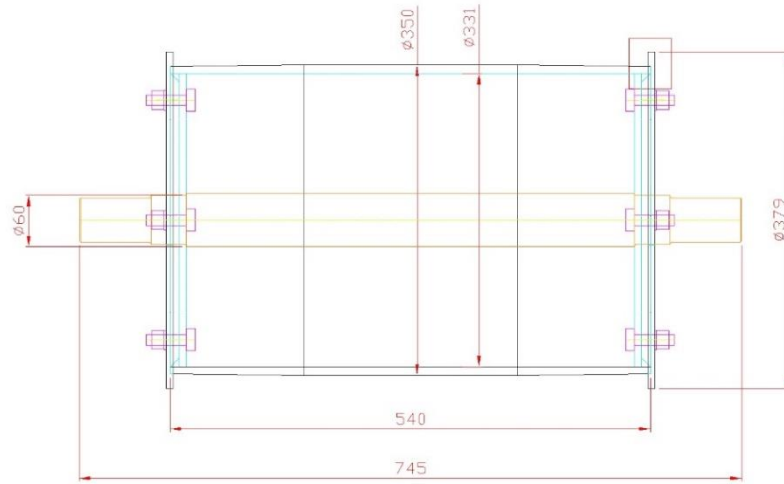


Figura 19 Desenho do tambor mandado

$$\text{Volume rolo} = (\pi(re)^2 - \pi(ri)^2) \times L = (\pi(0,175)^2 - \pi(0,166)^2) \times 0,540 = 0,005488m^3$$

$$\text{Peso rolo} = 0,005488 \times 7800 = 42,80kg$$

$$\text{Peso Veio D60} = \pi(re)^2 \times L \times \rho = \pi(0,03)^2 \times 0,745 \times 7800 = 16,43kg$$

$$\text{Peso disco exterior} = \pi(re)^2 \times e \times \rho = \pi(0,190)^2 \times 0,008 \times 7800 = 7,077kg$$

$$\text{Peso disco interior} = \pi(re)^2 \times e \times \rho = \pi(0,166)^2 \times 0,008 \times 7800 = 5,402kg$$

$$I_{rolo} = \frac{1}{2} \times M \times (Re^2 + Ri^2)$$

$$I_{rolo} = \frac{1}{2} \times 42,80 \times (0,175^2 + 0,166^2) = 1,245kg.m^2$$

$$I_{veio} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 16,43 \times 0,03^2 = 0,0074kg.m^2$$

$$I_{disco\ int.} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 5,402 \times 0,166^2 = 0,0744kg.m^2$$

$$I_{disco\ ext.} = \frac{1}{2} \times M \times R^2 = \frac{1}{2} \times 7,077 \times 0,190^2 = 0,1277kg.m^2$$

$$I_{tambor\ mandado} = I_{rolo} + I_{veio} + 2 \times I_{disco\ int} + 2 \times I_{disco\ ext}$$

$$I_{tambor\ mandado} = 1,245 + 0,0074 + 2 \times 0,0744 + 2 \times 0,1277 = 1,657kg.m^2$$

$$\sum M = I_{T\ motriz} \times \alpha_{T\ motriz} + (I_{T\ tensor} + I_{T\ mandado}) \times \alpha_{T\ tensor/mandado}$$

$$\omega_{tambor\ motriz} = \frac{2 \times \pi \times RPM}{60} = \frac{2 \times \pi \times 1470}{60} = 153,9rad/s$$

$$\omega_{tambor\ motriz} \times R_{tambor\ motriz} = \omega_{tambor\ mandado} \times R_{tambor\ mandado}$$

$$\omega_{tambor\ motriz} \times 0,125 = \omega_{tambor\ mandado} \times 0,175$$

$$\omega_{tambor\ motriz} = \frac{0,175}{0,125} \omega_{tambor\ mandado}$$

$$\omega_{tambor\ mandado} = \frac{\omega_{tambor\ motriz}}{1,4} = \frac{153,9}{1,4} = 109,9 \text{ rad/s}$$

Para determinar o tempo de arranque da máquina, deve-se ter em conta a característica de funcionamento de um motor trifásico de indução, isto é, considerar que podem desenvolver binário de arranque cerca de 2 a 3 vezes o binário nominal por cerca de 3 a 5 segundos antes de fazer disparar as proteções elétricas de excesso de carga, vulgarmente designado de térmico e excesso de corrente. Este valor de tempo de arranque em motores pequenos, até cerca de 15cv (11kW) pode ir até aos 5 segundos.

Assim considerou-se 5s de tempo de arranque da máquina para o cálculo da potência instalada. Os cálculos que se apresentam consideram uma aceleração constante até a que seja atingida a velocidade nominal.

$$\alpha = \frac{\omega}{t} \leftrightarrow \alpha_{T\ motriz} = \frac{153,9}{5} = 30,78 \text{ rad/s}^2$$

$$\sum M = I_{T\ motriz} \times \alpha_{T\ motriz} + (I_{T\ tensor} + I_{T\ mandado}) \times \alpha_{T\ tensor/mandado}$$

$$\sum M = 0,7240 \times \alpha_{T\ motriz} + (0,1709 + 1,657) \times \alpha_{T\ tensor/mandado}$$

$$\sum M = 0,7240 \times \alpha_{T\ motriz} + (1,828) \times \alpha_{T\ tensor/mandado}$$

$$\sum M = 0,7240 \times \alpha_{T\ motriz} + \left(\frac{1,828}{1,4}\right) \times \alpha_{T\ motriz}$$

$$\sum M = 5,294 \times \alpha_{T\ motriz}$$

$$\sum M = 2,030 \times 30,78 = 62,48 \text{ Nm}$$

Resulta que deve ser selecionado um motor com um binário de arranque de cerca de 62,48Nm.

Deve ainda ter-se em conta a inércia do rotor do próprio motor, e ainda os atritos de funcionamento que deveriam ser somados a estes. Pelo que foi selecionado o motor Siemens com 11kW, (1LE1001-1DB23-4AA4).

Este pequeno sobredimensionamento permite evitar futuros problemas de arranque, isto é, possibilitar que a máquina arranque já com produto na tela e evitar sobreaquecimentos em arranques sucessivos.

3.4 Cálculo da capacidade de enchimento:

Foi estabelecida uma capacidade de carregamento de 25T/h

$$\frac{25 \text{ Ton}}{1h} = \frac{25000kg}{3600s} \leftrightarrow 6,944kg/s$$

A densidade do *Gritz* é aproximadamente 700kg/m³. A aparência do *Gritz*, é conforme foto da Figura 20, e na Figura 21 apresenta-se um quadro com as características físicas do mesmo.



Figura 20 Foto do *Gritz*

GRANULOMETRIA

% Retenção nas peneiras (ABNT):		Padrão
	16 (1,18 mm)	Máx 1,0
	20 (0,850 mm)	Min. 60,0
	25 (0,710 mm)	Máx. 30,0
	40 (0,425 mm)	Máx. 10,0
	Fundo	Máx. 2,0
Umidade		Máx. 13,0"
Óleo		Máx. 0,8"
Acidez (ml sol. 1N de NaOH/100g)		Máx. 3,0"
Peso específico		650 a 750g /L

Figura 21 Granulometria e outras características do Gritz

A peça de introdução de produto (bocal de entrada), tem uma largura útil de 330mm conforme já descrito anteriormente. Foi calculado a altura mínima, "h", conforme Figura 22 para afinação inicial da mesma.

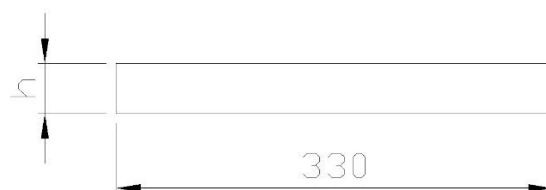


Figura 22 Pormenor das dimensões do bocal de entrada de produto e a regulação da altura "h"

$$\text{Area de passagem de produto} = h \times 0,33$$

Necessitamos de 6,944kg/s, foi considerada uma velocidade de 18,32m/s e uma densidade 700kg/m³ podendo-se concluir o seguinte caudal e respetivo valor de "h":

$$\frac{6,944}{700} = 0,00992 \text{ m}^3/\text{s} = 0,33 \times h \times 18,32 \leftrightarrow h =$$

$$0,00992 = h \times 6,056 \leftrightarrow h = 0,0016\text{m}$$

Este valor de 1,6mm é o mínimo teórico, no entanto, devido à granulometria, optou-se por um "h" de 10mm.

3.5 Cálculo das chumaceiras:

Para o cálculo da chumaceira, foi feito o estudo do tambor motriz, e tendo em consideração o resultado desta análise, optou-se pelo mesma referência de chumaceira para os restantes rolos.

Segundo o fabricante da tela, a tensão de funcionamento não deve provocar uma deformação superior a 0,3% na mesma. Neste projeto foi utilizado um valor de 0,2%

para a realização dos cálculos dada a configuração do rolo tensor, pois a tela nesta zona está apenas apoiada na periferia.

Segundo a ficha técnica da tela, a tensão verificada na tela após 1% de alongamento é de 12N/mm. Este vai ser o valor considerado para dimensionar as chumaceiras. A tela em causa tem 480mm de largura, logo a tensão é:

$$T = 12 \times 480\text{mm} = 5760\text{N}$$

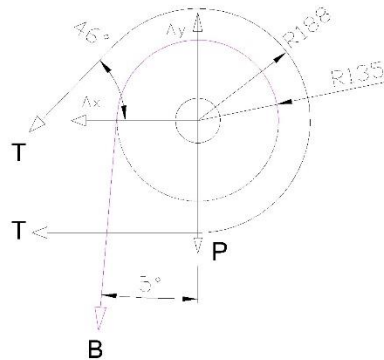


Figura 23 Diagrama Forças rolo motriz

$$B = \text{Força binário arranque} = \frac{153,2}{0,135} = 1134\text{N}$$

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 &\leftrightarrow T \cos 46 + T + B \sin 5 + A_x = 0 \\ 5760 \cos 46 + 5760 + 1134 \sin 5 &= -A_x \\ A_x &= -9860\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 &\leftrightarrow -T \sin 46 - B \cos 5 + A_y - P = 0 \\ -5760 \sin 46 - 1134 \cos 5 + A_y - 663\text{N} &= 0 \\ A_y &= 3677\text{N} \end{aligned}$$

$$F_{\text{chumaceira}} = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{(-9860)^2 + 3677^2} = 10523\text{N}$$

Por uma questão de robustez, durabilidade e compatibilidade com o diâmetro do veio foi selecionada uma chumaceira PME50, com uma capacidade de carga estática de 23,2kN.

3.6 Estrutura principal máquina.

A corpo principal da máquina consiste em três rolos que fazem mover uma tela, projetando o produto para o interior do contentor, o produto é abastecido pela parte superior por gravidade, ao entrar em contacto com a tela em movimento é acelerado e projetado com uma inclinação pré-definida.

A estrutura base da máquina em projeto é constituída por tubo quadrado e chapa de aço. As laterais são construídas em chapa de 6mm de espessura e servem de apoio para as chumaceiras dos rolos. O motor de acionamento é instalado na traseira da máquina possuindo um sistema de afinação para a sua correia. Esta configuração pode ser visualizada na Figura 24. Um dos topos é amovível possibilitando a manutenção da tela transportadora e também acesso á remoção e instalação dos rolos, conforme Figura 25.

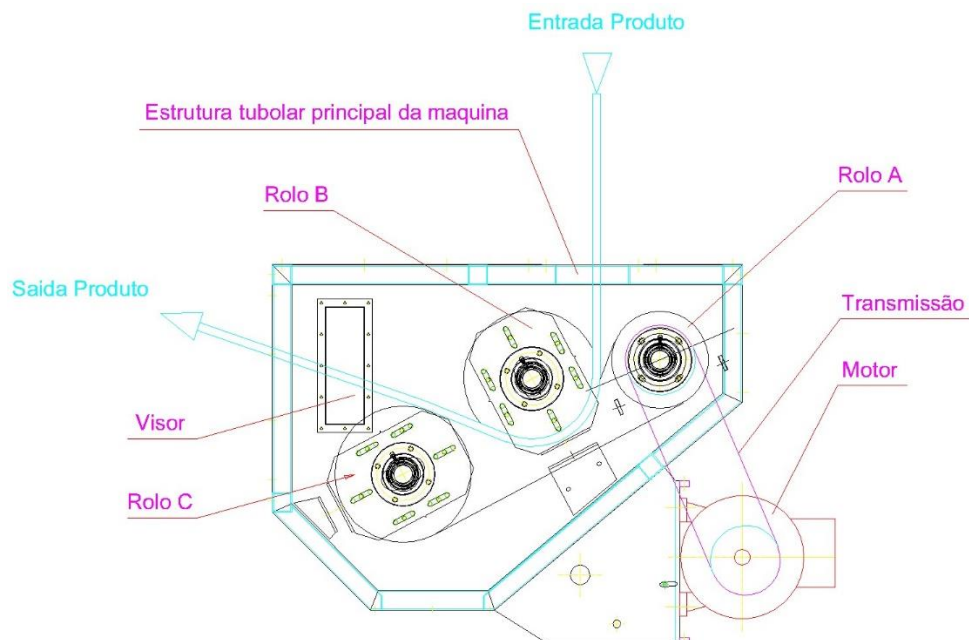


Figura 24 Estrutura principal do equipamento



Figura 25 Foto do equipamento com painel removível

Este equipamento obriga ao rolo intermédio, identificado como “Rolo B” na Figura 24, a ser composto por dois discos circulares de forma a permitir o fluxo do produto passar pelo interior do mesmo, conforme esquema da Figura 26. Estes discos são em material polímero, poliamida, adequado á manipulação de produtos alimentares e são fixos a um veio, por intermédio de casquilhos *RLK-1300 50x80*. Isto pode ser visto na foto da Figura 27. O material selecionado para a construção dos veios dos diferentes rolos foi o aço Ck45.

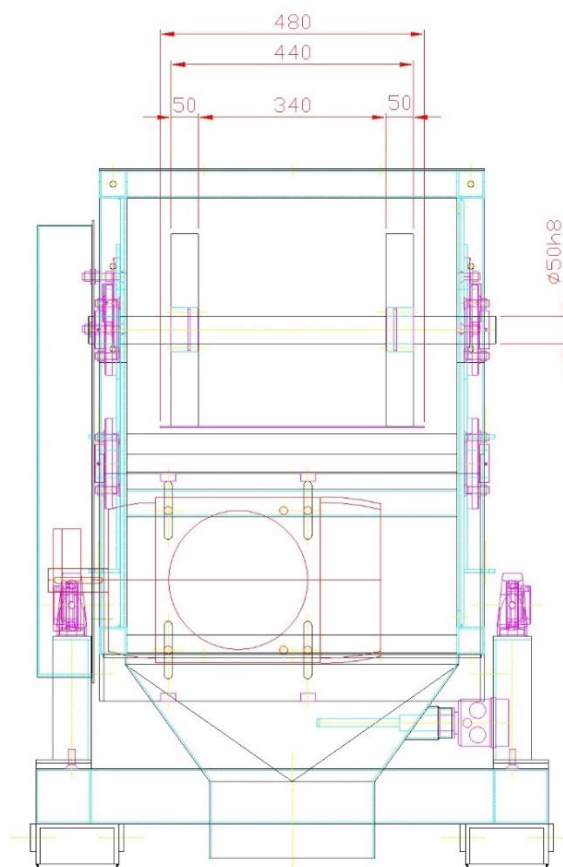


Figura 26 Pormenor do rolo intermédio - Rolo B



Figura 27 Foto de pormenor do rolo intermédio

Para a construção do rolo de tração, “Rolo A” foi utilizado tubo mecânico com diâmetro de 254mm e espessura 16mm, foram também aplicados topos soldados e um veio de 60mm ao eixo. As partes anteriormente referidas foram soldadas para obter um rolo robusto. Após a soldadura, as extremidades do veio foram maquinadas de maneira a se obter a concentricidade e coaxialidade adequada, corrigindo assim os empenos da soldadura. As extremidades do eixo foram retificadas para 50mm de diâmetro. Os topos dos rolos mandante e mandado foram preparados para posteriormente aplicação de flanges guias da tela transportadora, conforme Figura 29.

De forma a promover o alto alinhamento da tela transportadora os rolos mandantes e mandados devem ter a forma de rolo esférico, abaulamento. Posteriormente à construção soldada, os rolos foram maquinados de acordo com desenho da Figura 29 conferindo-lhe uma conicidade dos extremos. Após a sua construção os rolos foram calibrados dinamicamente e equilibrados para a rotação nominal, com intuito de minorar vibrações, esta ação é comum para máquinas que rodam acima de 500rpm.

Esta conicidade dos extremos é uma aproximação ao abaulamento, este é necessário para que a tela deste tapete de projeção de produto se mantenha estável e alinhada nos rolos pode ser calculado pela teoria de transmissão por correias planas. Uma boa fonte para a transmissão por correias planas pode ser encontrada na referência [3]. Segundo esta referência o abaulamento necessário seria de:

$$h = 0,5 (d_{meio} - d_{borda}) = b_p/100$$

$$h = 0,5 (250 - d_{borda}) = 480/100$$

$$h = 0,5 (250 - d_{borda}) = 4,8$$

$$(250 - d_{borda}) = \frac{4,8}{0,5} \Leftrightarrow 250 - 9,6 = d_{borda}$$

$$d_{borda} = 240,4mm$$

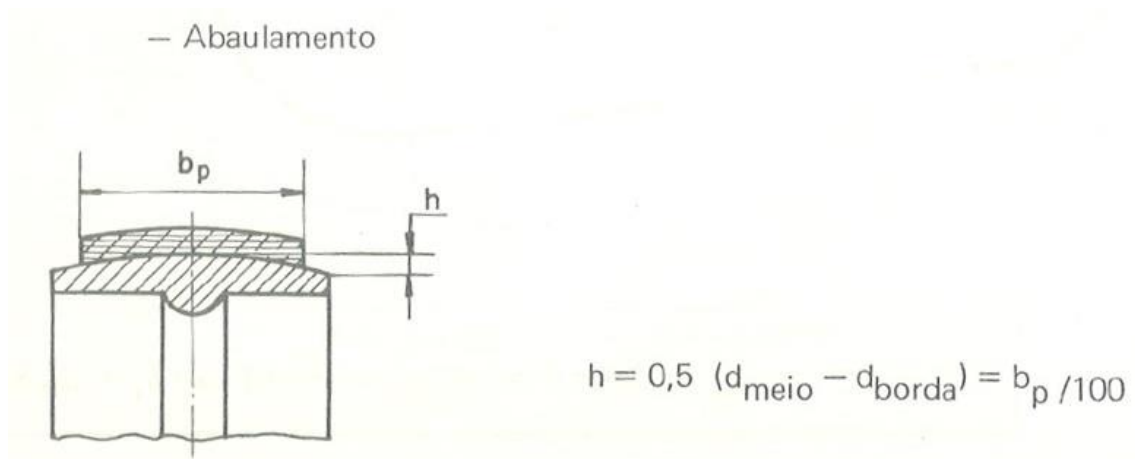


Figura 28 Pormenor do abaulamento

No entanto, o caso em concreto desta máquina não é transmissão de potência por correias planas, mas manter a estabilidade de um transportador por tapete. Dado ao *Know-how* adquirido pela Maitec, o abaulamento utilizado foi de $h=2,5\text{mm}$

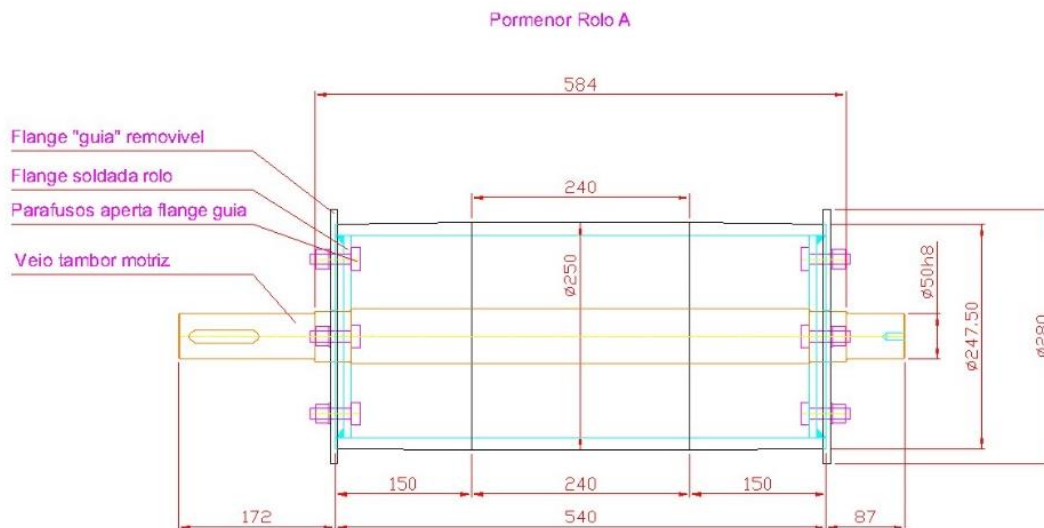


Figura 29 Pormenor do rolo tração - Rolo A

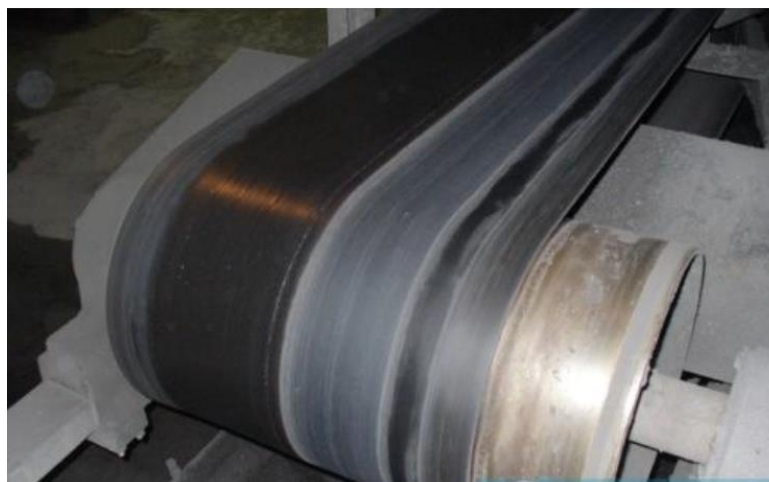


Figura 30 Exemplo do desalinhamento da tela no tambor



Figura 31 Pormenor das flanges guia

O rolo mandado, rolo C, foi contruído com um diâmetro de 350mm para possibilitar um ângulo de projeção mais acentuado, conforme Figura 32. O método construtivo é idêntico ao rolo de tração, rolo A.

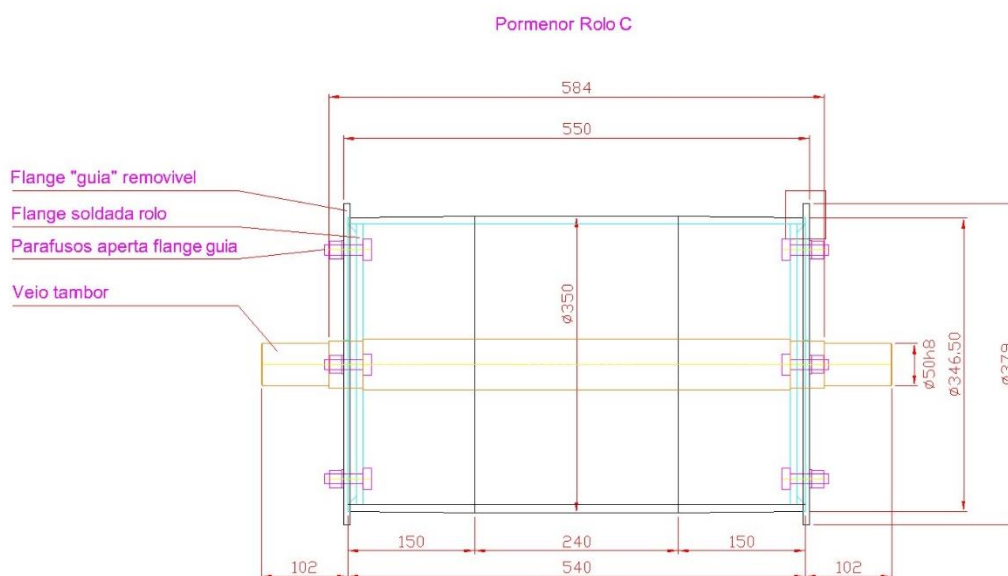


Figura 32 Pormenor do rolo C

O sistema de tensionamento da tela, permite também definir várias inclinações de projeção de produto. Este sistema consiste em afinar a posição do apoio dos rolos B e C com auxílio de um varão roscado e a uma base deslizante de apoio da chumaceira dos

rolos. Esta base desliza sobre o painel em chapa dos tampos da máquina, segundo a orientação de guias, a furação é rasgada nesta orientação. Após afinação a base é fixa, com auxílio de fêmeas autofrenantes. Este sistema pode ser visto na Figura 33 e na Figura 34.

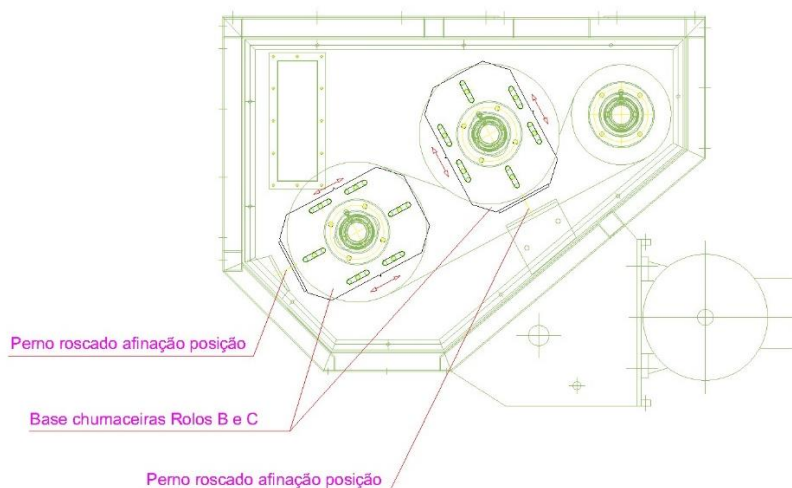


Figura 33 Pormenor das chapas de afinação da tela

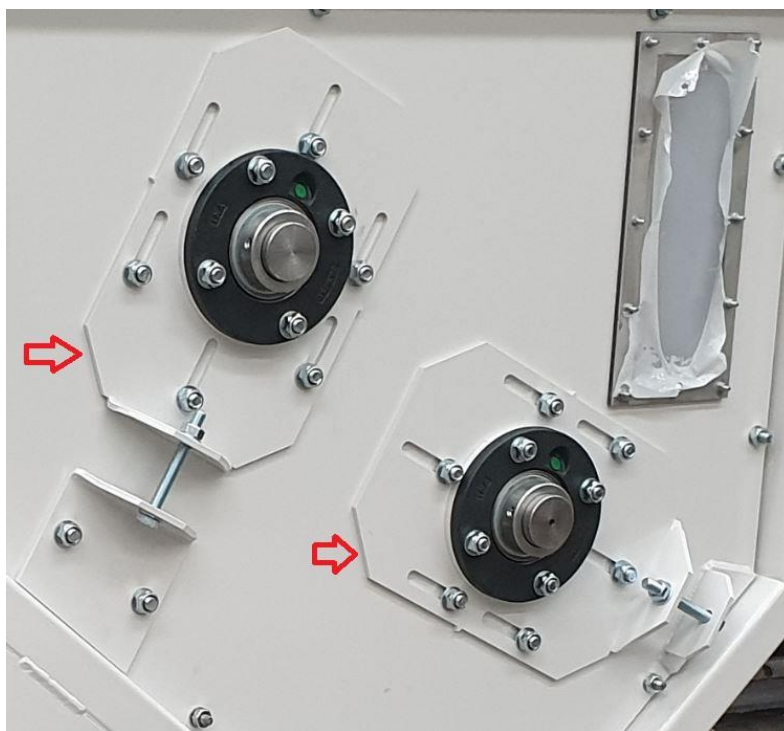


Figura 34 Foto de pormenor das chapas de afinação tela

Para o acionamento do rolo motriz, rolo A, foi usado uma transmissão por correias. O motor elétrico é fixo na base da estrutura tubular principal, a base de aperto do motor elétrico é com furação rasgada e permite a deslocação das sapatas do motor, de forma a tensionar as correias de transmissão. A transmissão é protegida pelo respetivo resguardo, este resguardo é fixo à estrutura do equipamento utilizando os mesmos

parafusos de aperto chumaceira rolo motriz, a furação foi rasgada para permitir o acompanhamento da blindagem de acordo com a posição da transmissão, conforme visto na Figura 35, Figura 36 e Figura 37.

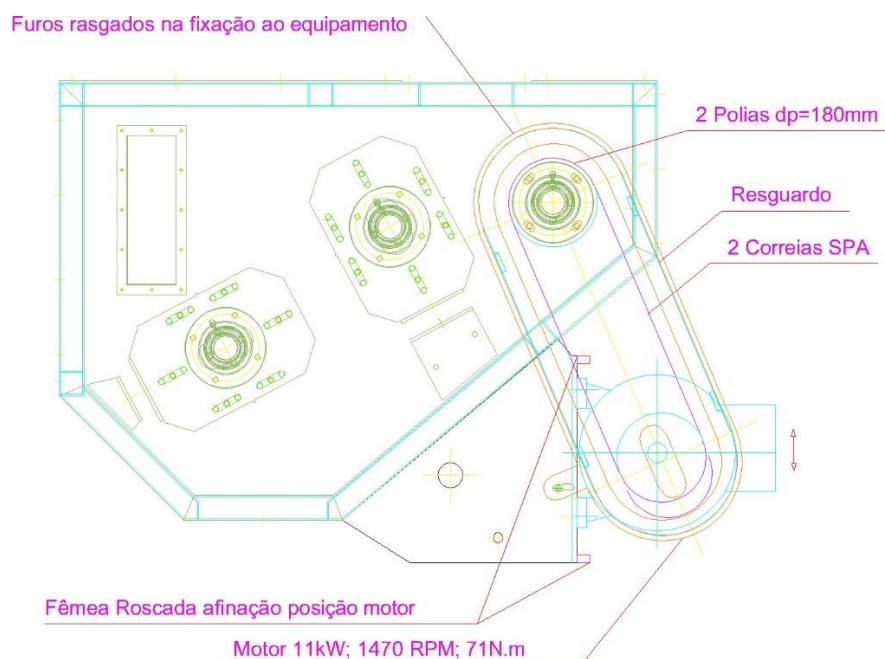


Figura 35 Pormenor da transmissão

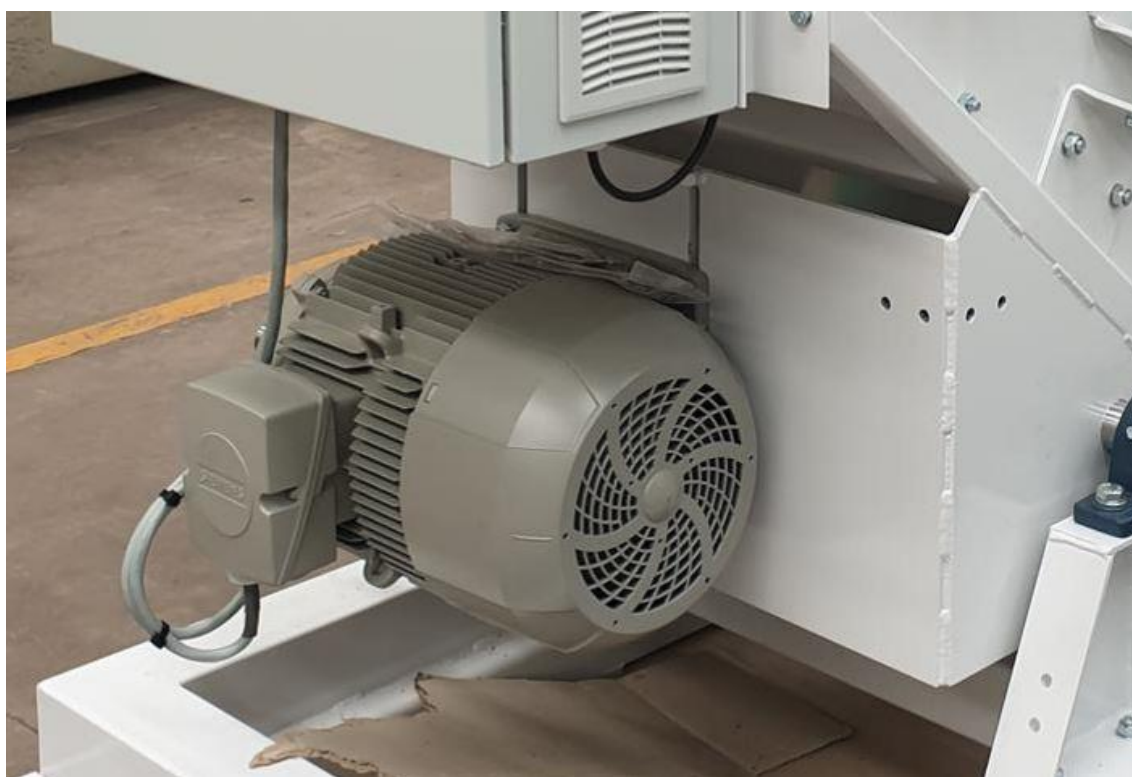


Figura 36 Foto de suporte do motor elétrico



Figura 37 Foto da blindagem da transmissão

Foi também projetado e construído um dispositivo para controlar e dosear a entrada de produto no equipamento. O objetivo principal deste componente é conseguir controlar a quantidade de produto por forma a maximizar o caudal, mas sem obstruções causadas pelo sobrecarregamento e também uniformizar o fluxo de produto ao longo da tela transportadora conforme Figura 38, e também Figura 39.

O controlo de caudal de queda do produto sobre a tela de projeção é conseguido fazendo variar uma abertura entre 15 a 83mm de abertura a toda a largura do tapete. Este controlo é facilmente efetuado por um fuso roscado.

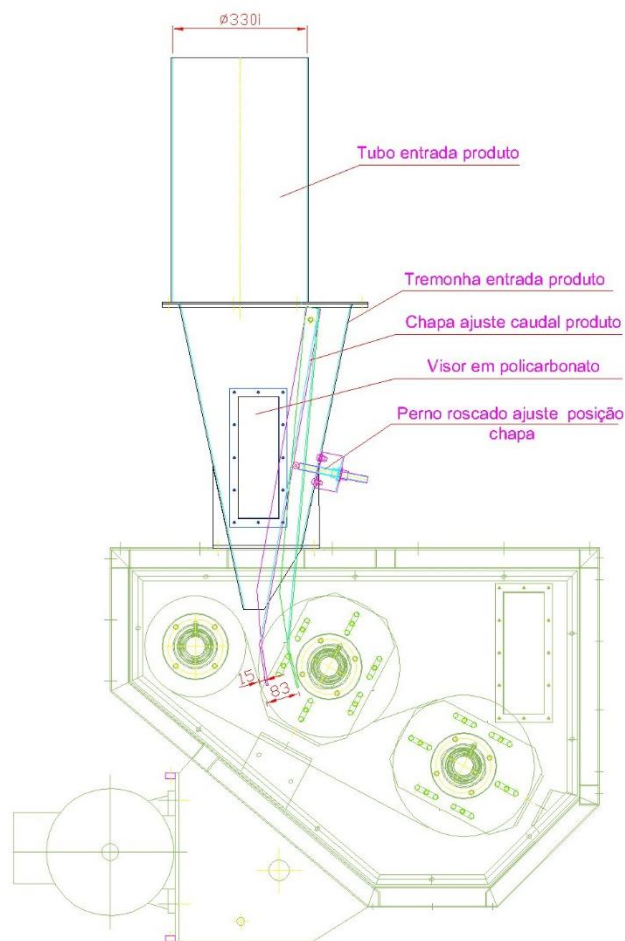


Figura 38 Pormenor do bocal de entrada do produto



Figura 39 Pormenor da chapa de ajuste do caudal do produto

Para um melhor acompanhamento e controlo do funcionamento da máquina de enchimento Big Bag por projeção foi aplicado um visor em policarbonato. Este tem dupla função, possibilitar a visualização do produto a fluir outra é possibilitar a aplicação de

uma sonda capacitiva de nível máximo de produto. Esta sonda será útil para uma maior automatização da máquina. Isto pode ser visualizado na Figura 40.



Figura 40 Foto da peça de introdução do produto

No bocal de saída de produto, a máquina de enchimento foi munida com 2 visores, que têm como objetivo poder observar se o produto flui normalmente. Isto é necessário para pequenas correções do caudal e ângulo de projeção.

O bocal de saída possui uma peça de adaptação ao Big Bag. Esta peça tem a forma arredondada para possibilitar a amarração do saco sem o danificar. O bocal de saída possui ainda local para aplicação uma sonda de nível, conforme Figura 41. Também é possível a instalação de uma sonda vibratória conforme Figura 42. Esta sonda tem como função parar o equipamento caso se detete produto acumulado nesta zona.

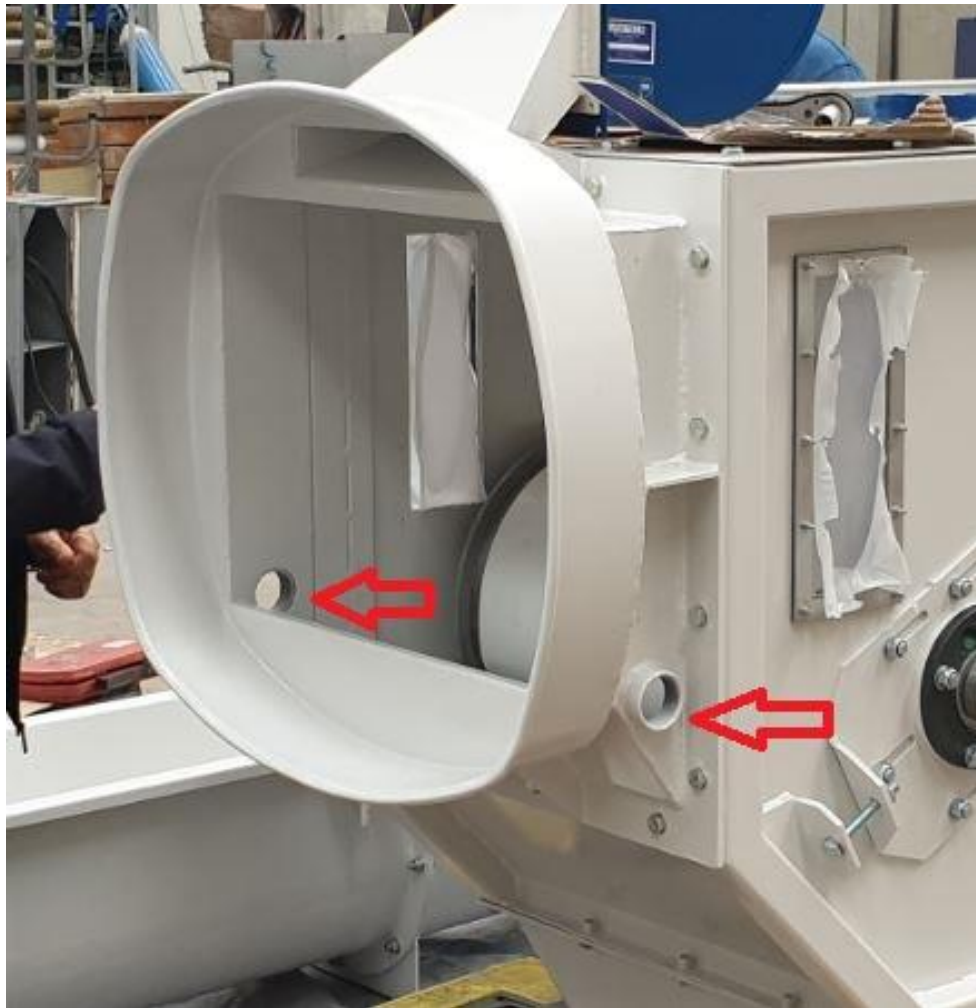


Figura 41 Pormenor para aplicação da sonda de nível máximo do Big-Bag



Figura 42 Foto do exemplo da sonda de palhetas vibrantes

Um ponto importante é também o facto de obrigar o Big-Bag estar completamente aberto, encostado às paredes do contentor para se fazer um carregamento eficaz do produto. Para isso foi projetado um pequeno ventilador na boca de saída produto do equipamento de forma a insuflar um caudal de ar suficientemente capaz de manter o Big-Bag encostado às paredes do contentor. Isto pode ser visto na foto da Figura 43 . Foi também aplicado um silenciador no ventilador para reduzir o ruído conforme foto Figura 44. Este ventilador tem um caudal de $32\text{m}^3/\text{min}$ e potência de $1,75\text{kW}$.

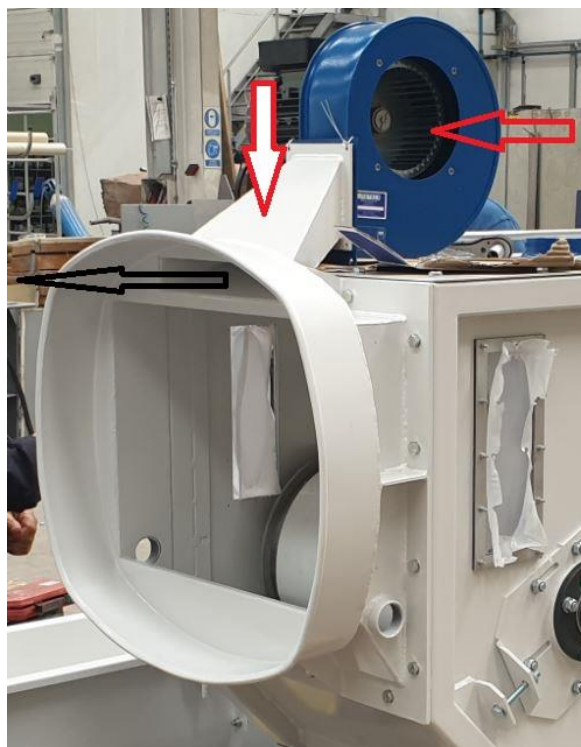


Figura 43 Pormenor da aplicação do ventilador de insuflação do ar no Big-Bag



Figura 44 Pormenor do ventilador com silenciador

Dada a natureza do equipamento, o seu modo de funcionamento e o tipo de produto que opera, é inevitável que algum produto se acumule no fundo da máquina. Ao ser usado um pequeno ventilador, a circulação de pó aumenta, aumentando assim a acumulação de produto no fundo da máquina. Por estas razões é necessário a aplicação de um sistema de captação deste produto no fundo da máquina.

Desta forma foi projetado uma peça para captação do pó na zona inferior da máquina. Foi instalado um bocal para receber um Big-Bag de pequenas dimensões (Big-Bag 1000kg, conforme Figura 45) esta peça tem um diâmetro 300mm para amarração do bocal do Big-Bag conforme Figura 46 e também tem um local para aplicação de uma sonda nível, alertando caso o Big-Bag esteja cheio. Foram também aplicados 4 suportes para as asas do Big-Bag, de forma a suportar o mesmo e mantê-lo aberto. Estes suportes estão fixos a uma estrutura de manuseamento do equipamento que falaremos mais a frente. Abaixo foto Figura 47 para melhor perceber.



Figura 45 Exemplo do Big-Bag de 1000Kg

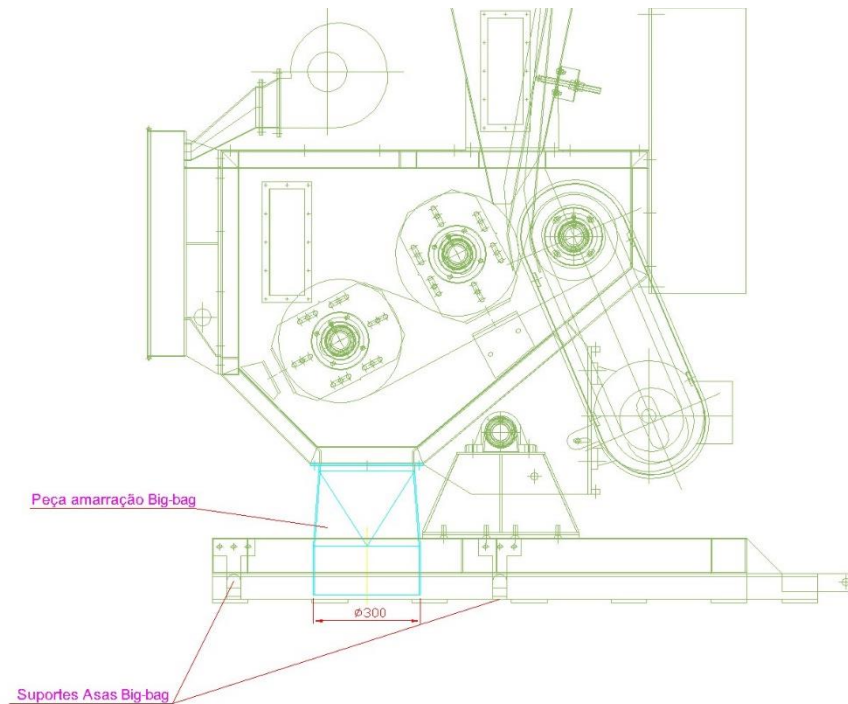


Figura 46 Pormenor do bocal de fixação do Big-Bag para recolha do pó.



Figura 47 Foto do bocal de amarração do Big-Bag

Após concluir o projeto do corpo principal da máquina, foi necessário projetar uma estrutura para o seu manuseamento com o intuito de a tornar portátil. A pedido do cliente, a estrutura de suporte desenvolvida preconiza o manuseamento e utilização da máquina com empilhador. Tratando-se de um equipamento pesado e sendo necessário elevá-lo até ao topo da entrada do contentor apenas devem ser utilizados empilhadores de capacidade superior a 3Ton. Para isso foi então projetada uma estrutura de forma a permitir a entrada dos garfos do empilhador conforme desenho da Figura 48, Figura 49

e Figura 50. No sistema projectado utilizaram-se tubos de secção retangular de forma a envolver completamente os garfos do empilhador para que estes não se libertem.

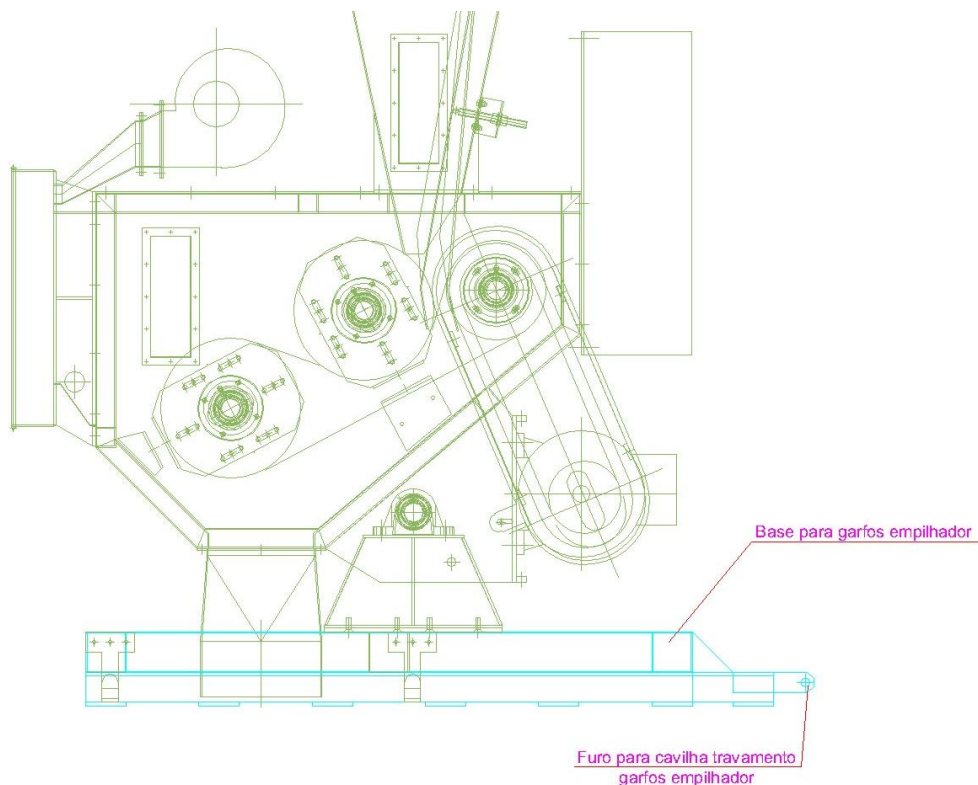


Figura 48 Pormenor da zona de entrada dos garfos do empilhador

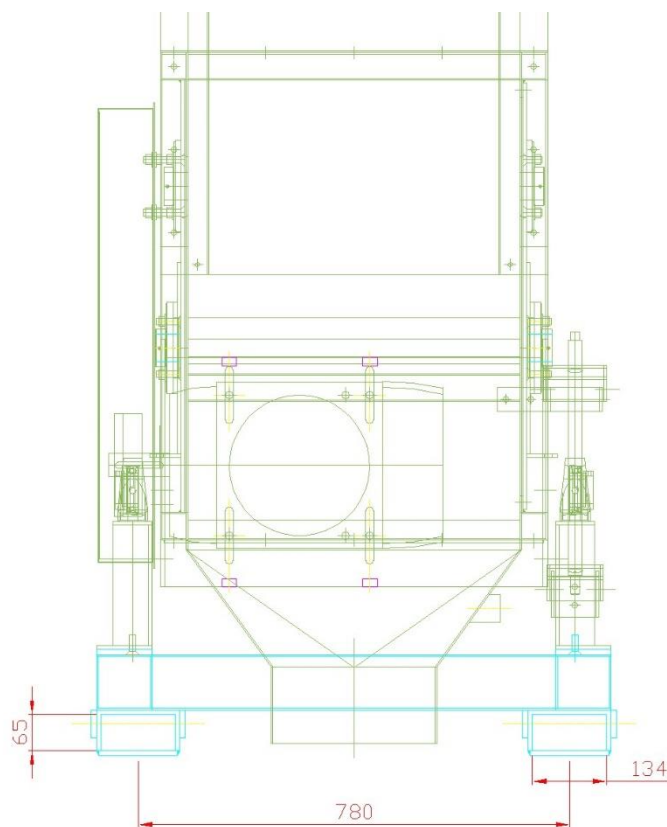


Figura 49 Pormenor do encaixe dos garfos do empilhador

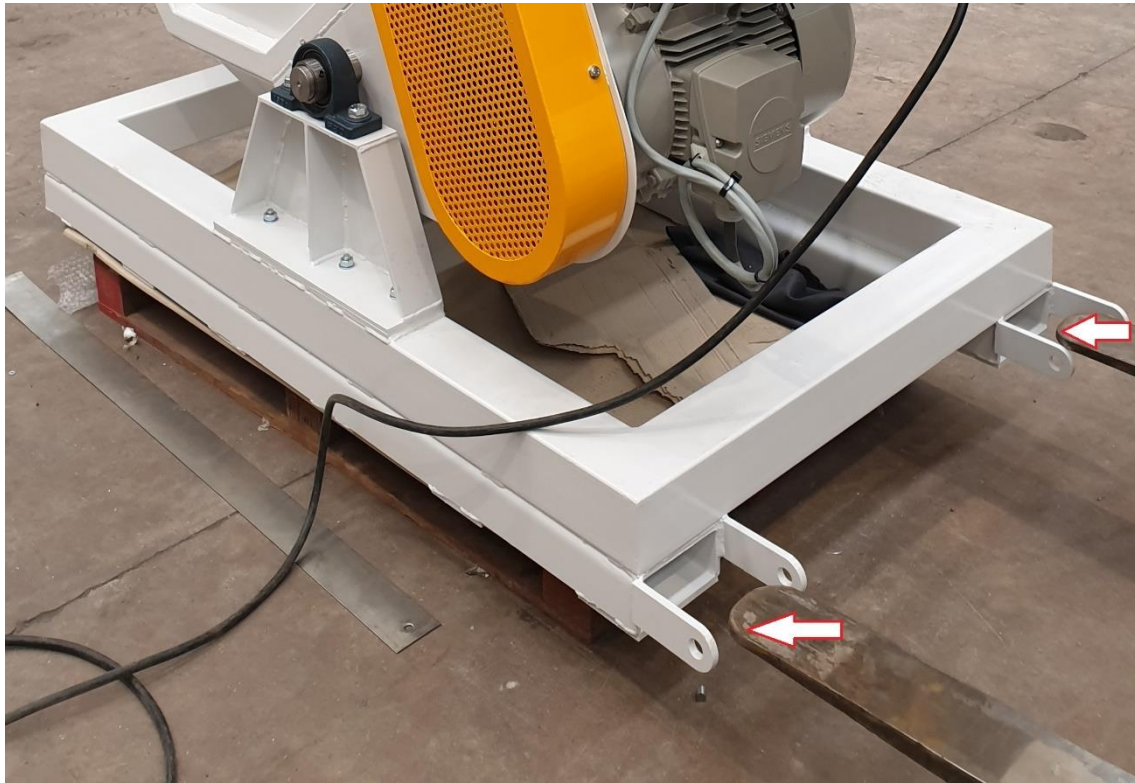


Figura 50 Foto da base dos apoios dos garfos do empilhador

A junção da estrutura dos garfos do empilhador à máquina foi projetada de forma a se afinar o ângulo de projeção máquina relativamente á base de apoio, desta forma a ligação é feita através de 2 chumaceiras e de um veio fixo na estrutura da máquina, conforme Figura 51 e foto da Figura 52.

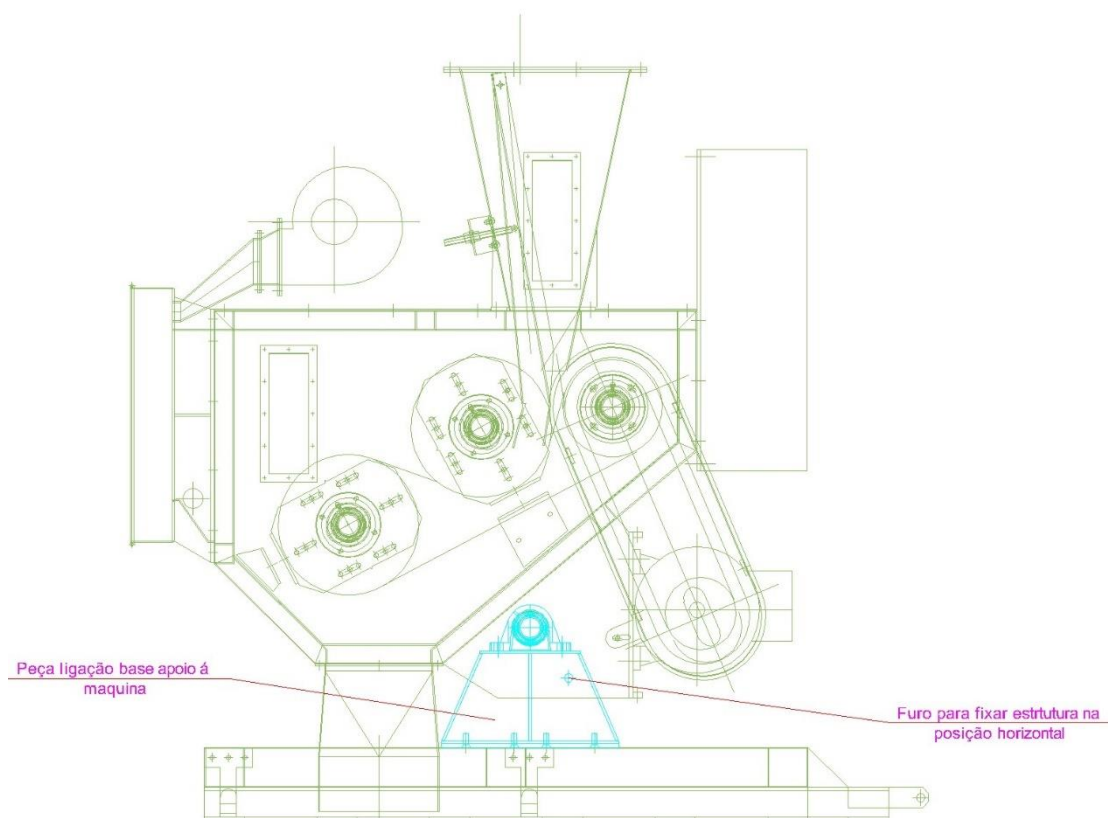


Figura 51 Peça da ligação da base de apoio á máquina



Figura 52 Foto de pormenor da ligação da base de apoio á máquina

Foi também instalado um fuso roscado para fácil afinação do ângulo entre a base de apoio e a máquina, sendo que para este caso é necessário remover o parafuso existente de fixação da foto da Figura 52. O fuso projetado é conforme a Figura 53 e foto do exemplo da Figura 54.

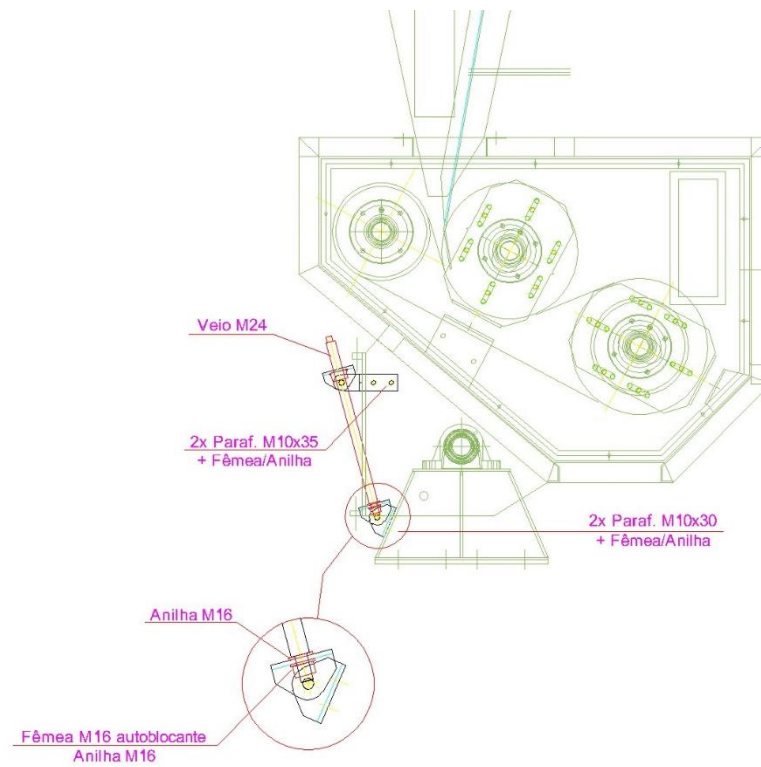


Figura 53 Pormenor do fuso de afinação do ângulo da máquina



Figura 54 Foto do exemplo do fuso de afinação

4 Projeto de automação do equipamento para enchimento de contentores por projeção

Para a automação e controlo da máquina o projeto foi feito em conjunto com a empresa de automação (CSC - Energia e Automação).

De acordo com os requisitos do cliente e também os requisitos de segurança e futura marcação CE do equipamento foi elaborado uma lista de requisitos para a eletrificação e automação do equipamento.

4.1 Requisitos para automação e eletrificação do equipamento

A máquina é composta pelos seguintes componentes principais:

- Motor de acionamento da tela com 11kW de potência (ficha técnica em anexo);
- Variador de frequência, para rampa de aceleração e ajuste de velocidades;
- Ventilador/soprador 0,75kW (ficha técnica em anexo);
- Sirene;
- Sinal luminoso verde(funcionamento), azul (Com corrente elétrica), vermelho (avaria) amarelo (nível alto-sonda entupimento);
- Potenciômetro para variar a velocidade facilmente da tela.

Para dar início à marcha, primeiro o operador deve ligar o ventilador de insuflação de ar do Big-Bag, depois ligar o motor principal da máquina. Pode variar a velocidade da tela, dentro dos limites segurança definidos pelo variador de frequência.

A nível de segurança, a máquina tem duas sondas de nível conforme localização já mencionada anteriormente, sendo que em caso de entupimento ou enchimento completo, ela emite um sinal sonoro, um sinal luminoso (vermelho) e no quadro principal deve existir um sinal de saída para desligar uma electroválvula, como por exemplo de uma válvula de saída do silo.

A máquina deve ter um corte geral de energia e um botão de emergência, entre outros, de forma a cumprir com o regulamento construção de máquinas para marcação CE.

A localização do quadro é na parte traseira da máquina, fixa a uma estrutura principal conforme foto da Figura 55, pode ser visto também a organização interior do quadro elétrico na Figura 56.



Figura 55 Foto da localização do quadro de comando elétrico

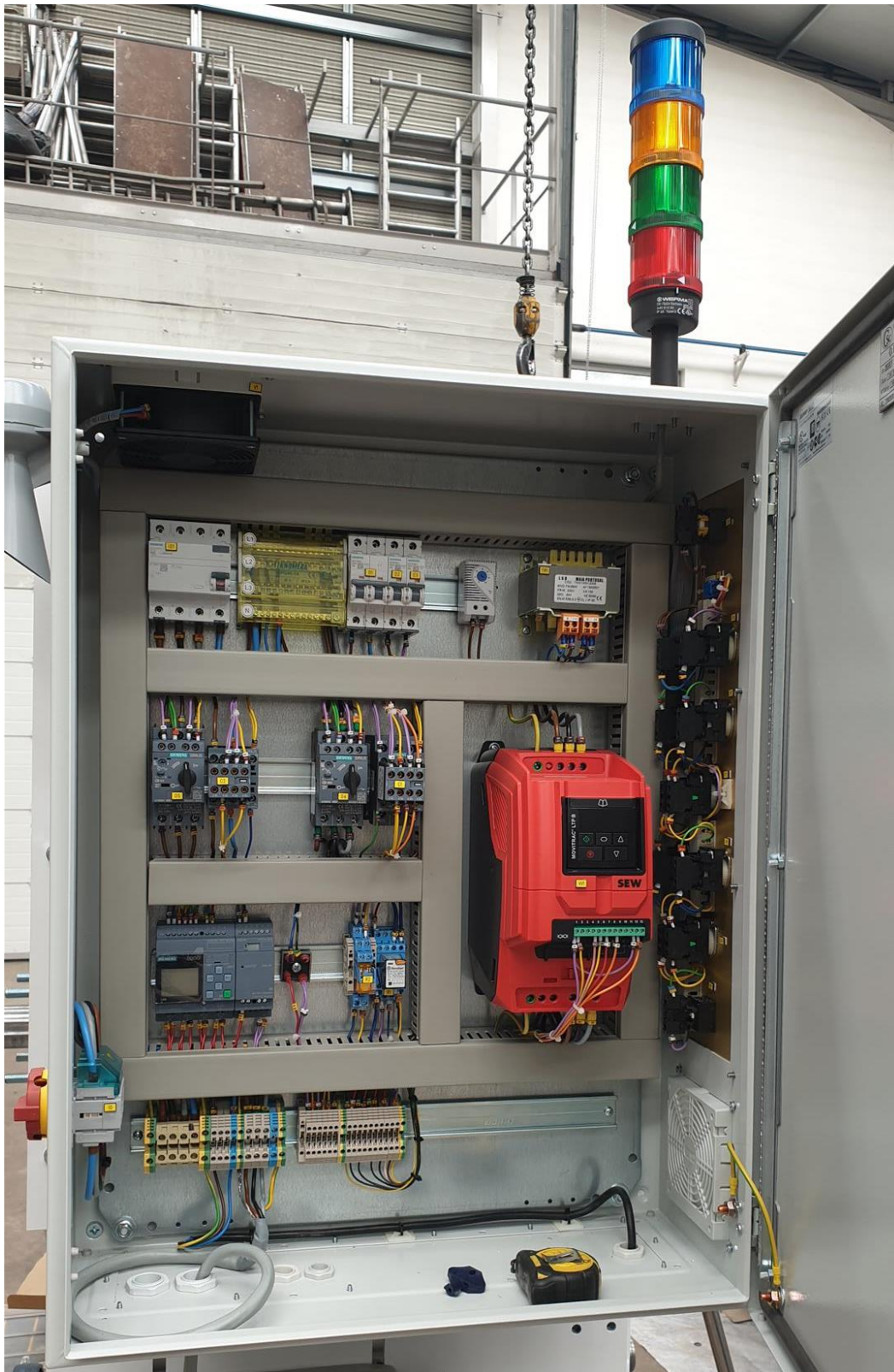


Figura 56 Foto da arrumação do interior do quadro de comando elétrico

Inicialmente o cliente pretendia manusear a máquina única e exclusivamente com o empilhador. Mas este processo revelou-se um pouco perigoso, devido ao fato do empilhador existente no cliente não ter capacidade suficiente para manobrar o equipamento no ponto mais elevado, nomeadamente quando este eleva o equipamento para a zona do bocal do contentor, pois o operador apoiava-se na máquina para apertar o bocal do Big-Bag de forma a deslocar o centro de gravidade de tal forma que desequilibrava o empilhador. Desta forma foi então projetada uma estrutura de apoio da base do equipamento, de forma a fixar a mesma ao contentor, esta ligação ao contentor é feita apenas por encaixe nos orifícios existentes no topo do mesmo, depois a estrutura encosta nos prumos da porta do contentor.

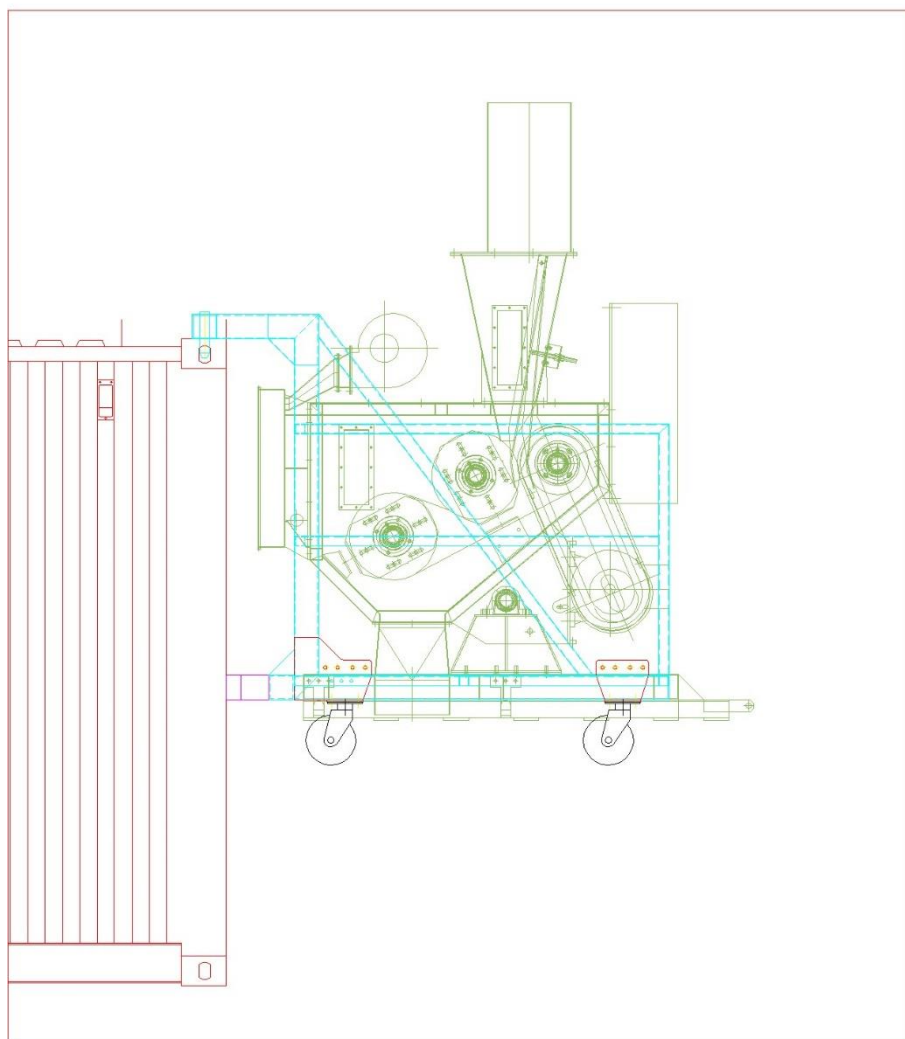


Figura 57 Pormenor da estrutura de suporte da máquina ao contentor

Esta estrutura de suporte (Figura 57) é fixa ao equipamento da máquina por intermédio de parafusos. Foram ainda aplicadas quatro rodas a está estrutura de suporte para permitir o seu manuseio no solo, pois existe esta necessidade neste cliente em especial.

De forma a facilitar o acesso de um operador a máquina, foi também projetado uma pequena passerelle com varandim para o operador poder manusear os comandos da máquina e também fixar o bocal do Big-Bag à saída da máquina. De notar que o operador deve estar sempre preso com arnês segurança e idealmente com linha de vida temporária previamente montada no local da operação, abaixo pormenor desta estrutura conforme Figura 58.

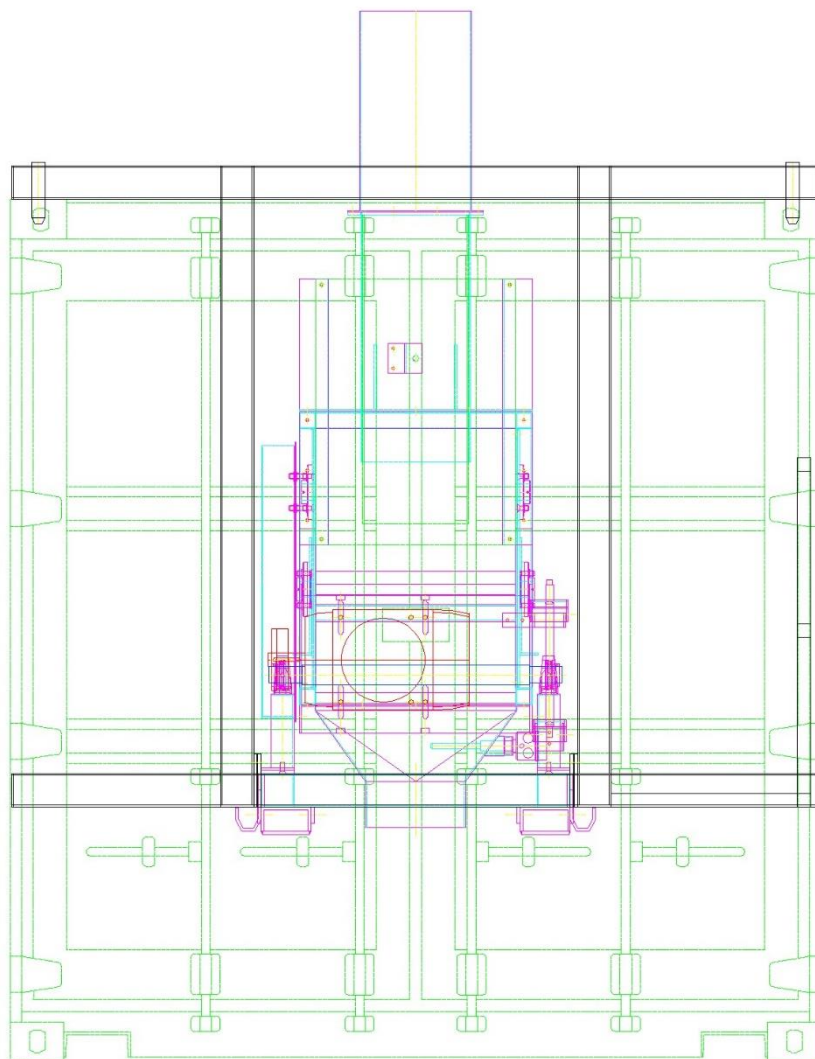


Figura 58 Estrutura de apoio do equipamento ao contentor

CONCLUSÕES

- 5.1 CONCLUSÕES
- 5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Foi projetada com sucesso uma máquina industrial, para enchimento de contentores até 40 pés por projeção, adequada para produtos granulares alimentares, neste caso *GRITZ*.

O equipamento foi projetado de acordo com as normas e de boas práticas para equipamento industriais. Foi privilegiada a robustez e durabilidade em detrimento de otimização de espessuras e respetivo peso.

Os principais órgãos mecânicos como rolos e chumaceiras de rolamentos foram dimensionados com base em cálculos efetuados. Também a motorização foi selecionada de acordo com cálculos efetuados. A velocidade de projeção foi calculada para ser possível atingir o fundo de um contentor de 40 pés, através destes foram dimensionados os rolos. A transmissão por correia foi calculada para atingir a velocidade na tela desejada.

O equipamento projetado permite a operação com outros tipos de granulados alimentares. Os materiais utilizados para rolos telas e tremonhas estão de acordo com as normas alimentares. Foi feita a pintura de acordo com as normas FDA em vigor.

Todo o equipamento foi projetado tendo em conta os requisitos e normas para marcação CE, que foi obtida.

A máquina possuiu todos os dispositivos de segurança necessários, quer mecânicos quer elétricos. Todas peças em movimento estão protegidas com resguardos. O quadro elétrico é IP66. A máquina está munida com botão de paragem de emergência, assim como sinalização sonora e luminosa, para além dos restantes requisitos legais.

Foi adotado a utilização de um variador de fase para variação da velocidade de projeção de acordo com as necessidades, o tipo de produto e dimensões do contentor. O equipamento também possui um ajuste mecânico da inclinação para o ângulo de projeção.

A máquina foi equipada com acessórios de proteção contra: entupimento de produto por entrada excessiva, por enchimento completo do contentor, desligando-se sozinha em ambos os casos.

O equipamento foi munido com visores de controlo de nível e de processo para melhor acompanhamento e conforto do operador.

O equipamento projetado, desenvolvido e construído foi ensaiado, recebido pelo cliente e encontra-se em operação.

O equipamento projetado, desenvolvido e construído provou eficiência no enchimento do contentor fazendo-o em cerca de uma hora. O caudal máximo verificado após ensaios foi de 25Ton/h.

5.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Este equipamento pode vir a ser otimizado especialmente em termos de dimensões dos seus componentes e da sua estrutura no sentido de alguma otimização de material e peso. Isso só faz sentido se houver a expectativa de venda de muitas unidades.

Havendo a oportunidade de mercado, isto é, a previsão de venda de várias unidades, o equipamento deverá ser ensaiado exaustivamente com diferentes materiais e enchendo diferentes tamanhos de contentores por forma a elaborar um manual de utilização que contenha os parâmetros de utilização, velocidade da tela e inclinação de projeção, por forma a facilitar a sua operação.

O equipamento pode ser melhorado por forma a poder ser operado por ponte rolante, para o efeito deverá ser munido de argolas de suspensão.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- 6.1 LIVROS DE CONSTRUÇÕES DE MÁQUINAS
- 6.2 CATÁLOGOS INDUSTRIAIS
- 6.3 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6.1 LIVROS DE CONSTRUÇÕES DE MÁQUINAS

- [1] F. Sass, Ch. Bouché , A. Leitner. Dubbel Manual da construção de Máquinas, 13ªEdição, Volume 1,
- [2] Eng.º Ind. Mec. Francesco Provenza- Crea nº11.838/D, Mecânica Aplicada , Edição 1983,1976
- [3] Olavo pires e Albuquerque, Dinâmica das Máquinas, 1977
- [4] Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston, William E. Clausen. Mecânica Vetorial para Engenheiros: Dinâmica , 7ªEdição,2006
- [5] Deodoro Ribeiro da Silva. Transporte Pneumático - Tecnologia, Projetos e Aplicações na Indústria e nos Serviços,2005
- [6] Wilbur G.Hudson, Conveyors and Related Equipment, 3ªEdição, 1954
- [7] <https://siloscordoba.com/wp-content/uploads/2015/03/Filtros-en-plantas-de-silos1.jpg>

6.2 CATÁLOGOS INDUSTRIAIS

<https://transporteca.pt/contentores-de-cargas/>;(consultado em Jul/20)

Exemplos carga “http://www.dynamicair.com/installations/installation_31.html”;
(consultado em Jul/20)

<http://www.dynamicair.com.br/>; (consultado em Ago/20)

https://irp-cdn.multiscreensite.com/5285d2b4/files/uploaded/bha_container_liner1.pdf;
(consultado em Ago/20)

https://www.alibaba.com/product-detail/Container-inner-liner-FIBC-bulk-sea_62397135003.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.6d867765bZs0sL; (consultado em Ago/20)

http://www.thereceng.com/sea_bulk_loading_system.html; (consultado em Ago/20)

<http://telescopicbeltconveyor.com/mobile-type-for-open-area/>; (consultado em Ago/20)

<https://s3.static.brasilecola.uol.com.br/be/arquivos/1-lancamento-obliquo.pdf>; (consultado em Jul/20)

<https://milhao.net/industria-alimenticia/grits-de-milho-snack300/>; (consultado em Jul/20)

6.3 ARTIGOS EM REVISTAS INTERNACIONAIS

[8] Nikoleta Mikušová¹, Slavomír Milľo, MODELLING CONVEYOR BELT PASSAGE WITH A DRIVING DRUM USING FINITE ELEMENT METHODS, Advances in Science and Technology Research Journal, Volume 11, Issue 4, December 2017, pages 239–246
DOI: 10.12913/22998624/80311.

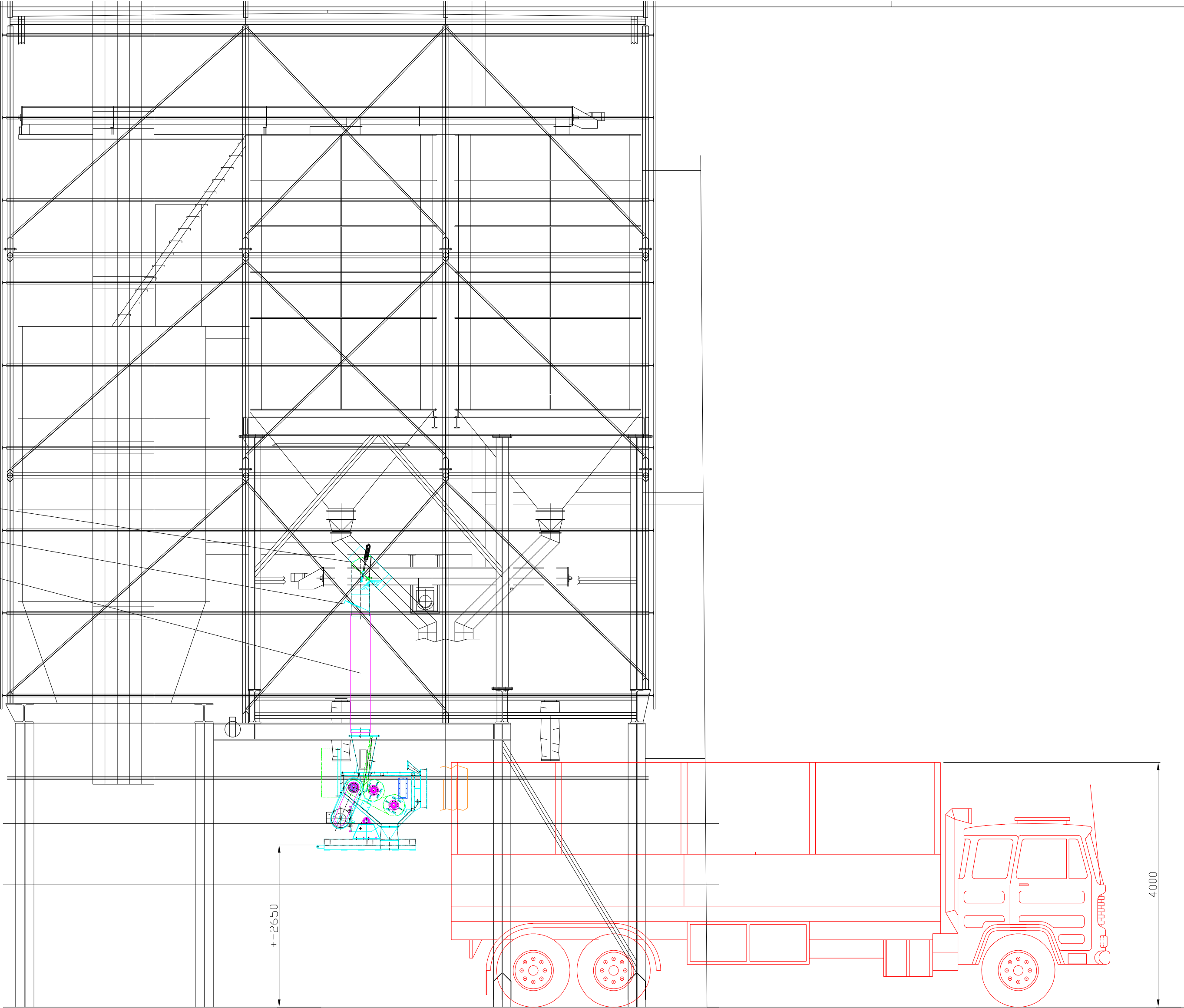
ANEXOS

- 7.1 DESENHO 2D – ESTUDO PRINCIPAL
- 7.2 DESENHO 2D – DESENHO PRINCIPAL DA MÁQUINA
- 7.3 DESENHO 2D – DESENHO FABRICO PRINCIPAL
- 7.4 DESENHO 2D – DESENHO DE MONTAGEM DO EQUIPAMENTO + ESTRUTURA + CONTENTOR

7 ANEXOS

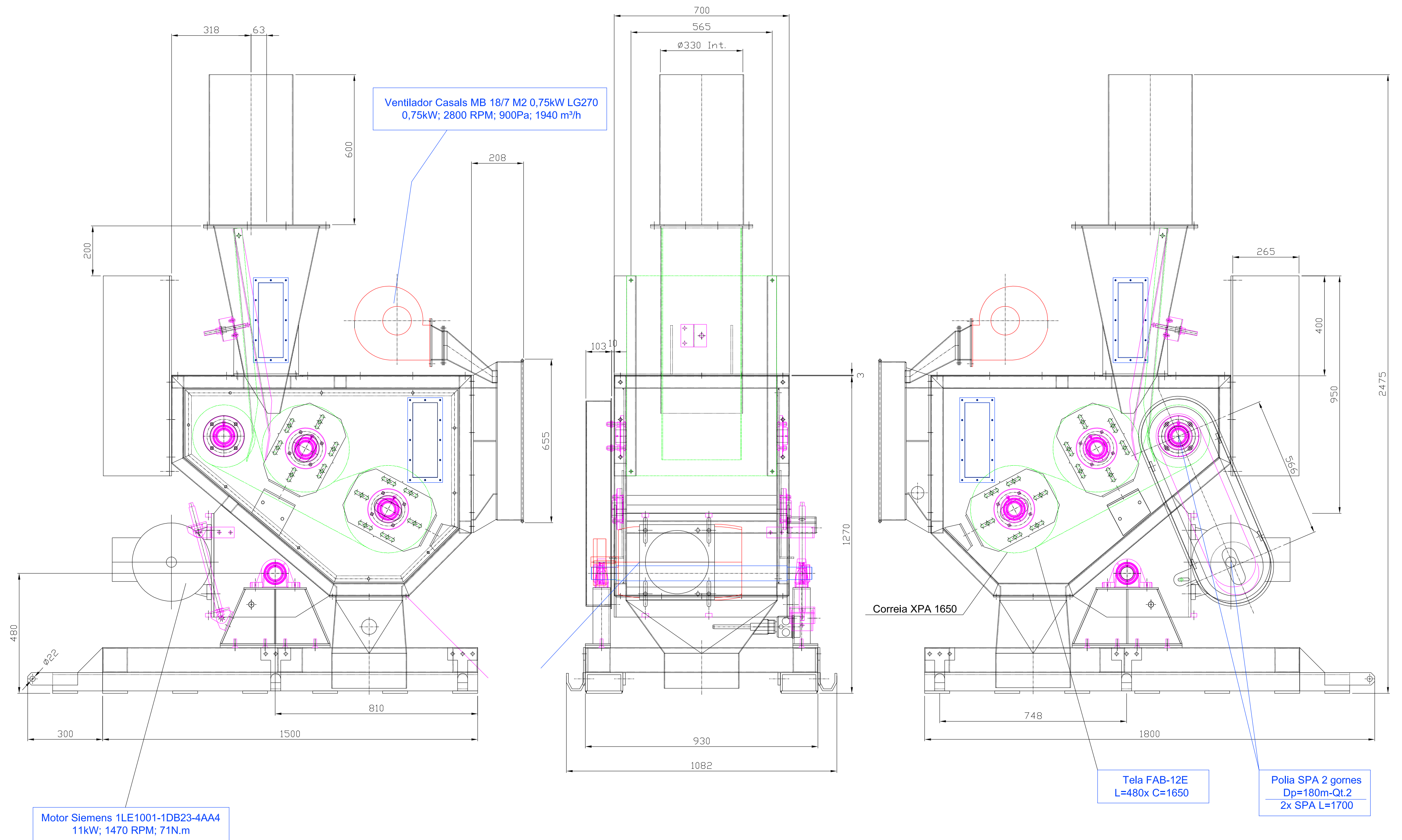
7.1 Desenho 2D – Estudo Principal


Valvula 2 vias
Registo de caudal
Manga flexivel



Cliente:		Cliente			
Localidade:	Matosinhos	Data	Rubrica		
		Des. 019.05.05	JS		
		Proj. 019.05.28	Helio C.		
		Verif.		Projecto	
		Legenda :		Desenho N° PR.1243	
				Estudo	
				Enchimento do Container Liner gritz	
				Escala	Formato
				1: 50	A1+
				Org. N°	
				O.S. N°	

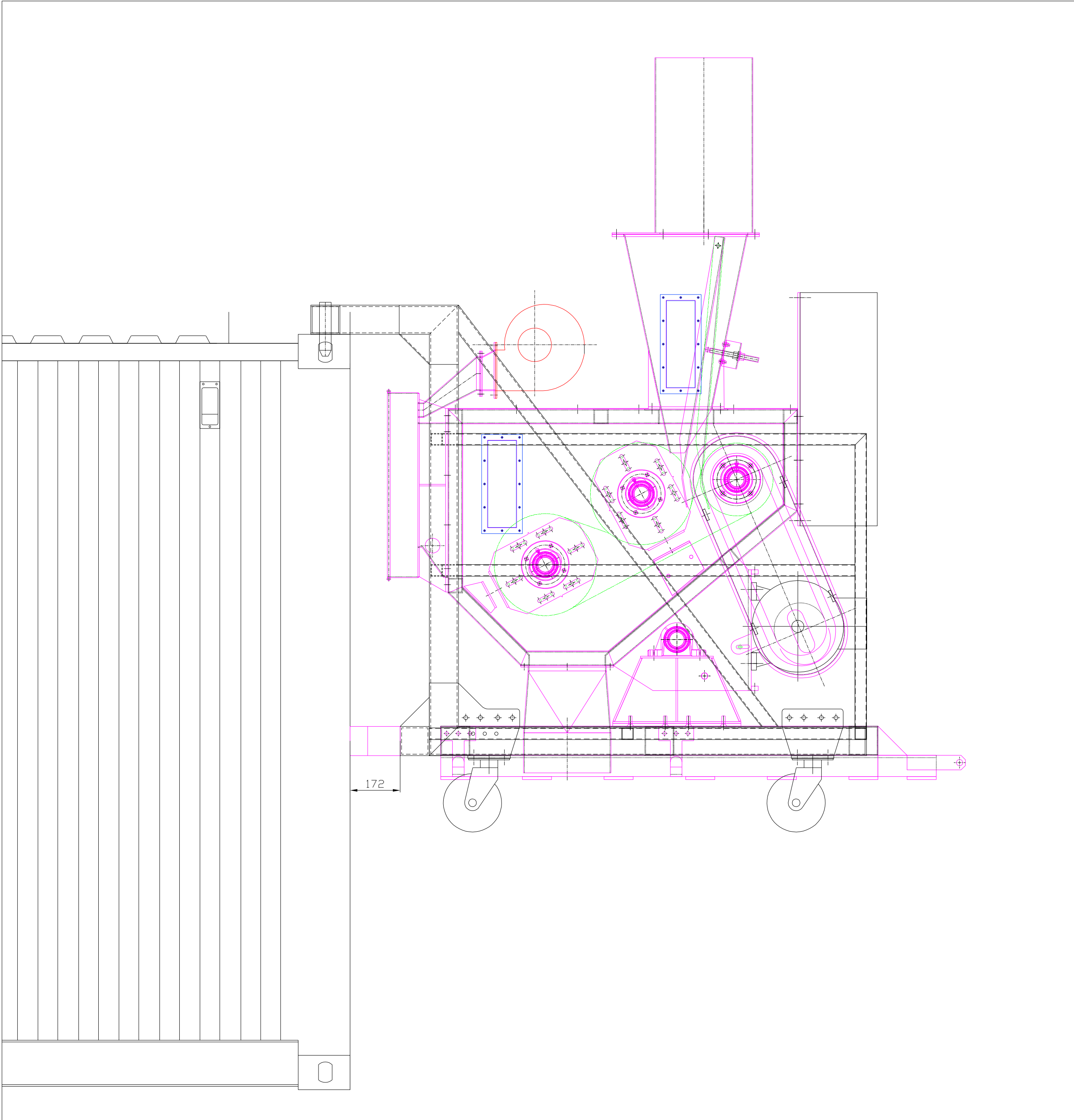
7.2 Desenho 2D – Desenho Principal da Máquina




	Data	Rubrica	Cliente			
Proj.						
Des.	28.05.19	Helio C.				
Verif.						
Nº Peças 1 Conjunto			Enchimento saco contentor Desenho conjunto		Desenho N° Des. 2	
Cliente N° .					Escala	Formato
Orçam. N° .					1:10	A2
O.Serv. N° .						

7.3 Desenho 2D – Desenho de fabrico principal

7.4 Desenho 2D – Desenho de montagem do equipamento + estrutura + contentor



	Data	Rubrica	Cliente	
Proj.				
Des.	07.02.20	Helio C.		
Verif.			Enchimento saco contentor Estrutura de apoio	
Nº Peças 1 Conjunto				
Cliente N°	.	.		
Orçam. N°	.	.		
O.Serv. N°	.	.		
			Desenho N° Des. 4	
			Escala	Formato
			1:10	A2